

Министерство Образования Азербайджанской Республики

Университет Хазар

На правах рукописи

Студент Бабаев Вугар Манаф оглы  
(фамилия, имя, отчество)  
Воздействие магнитным полем на нефтеотдачу  
(тема тезиса)

Специальность Нефтяная инженерия  
(название)

# Т Е З И С

Научный руководитель: профессор, д.т.н.  
Мамед-Заде Ариф Микаил оглы  
(научная степень, фамилия, имя, отчество)



Баку - 2000

## РЕФЕРАТ.

В работе приводится методика проведения экспериментальных исследований по вытеснению углеводородных жидкостей омагниченных водных систем; методика подбора напряженности магнитного поля; изучение влияния магнитной обработки воды на процесс вытеснения углеводородных жидкостей; исследование влияния магнитной обработки воды на скорость однофазной фильтрации; анализ влияния омагниченной воды на коэффициент вытеснения; влияние магнитной обработки воды на скорость коррозии промышленного оборудования; исследование процесса вытеснения углеводородных жидкостей магнитообработанным раствором ПАВ; влияние магнитообработанного раствора кислоты на процесс вытеснения углеводородных жидкостей; промышленные исследования увеличения приемистости нагнетательных скважин.

На основе результатов исследований дается заключение.

Работа включает 69 страниц. Список литературы включает 19 наименований.

## Содержание

|  | Страницы |
|--|----------|
| Введение   | 1        |
| §1 Методика проведения экспериментальных исследований по вытеснению углеводородных жидкостей омагниченных водных систем. | 4        |
| §2 Методика подбора напряженности магнитного поля  | 9        |
| §3 Изучение влияния магнитной обработки воды на процесс вытеснения углеводородных жидкостей.                             | 22       |
| §4 Исследование влияния магнитной обработки воды на скорость однофазной фильтрации.                                      | 26       |
| §5 Анализ влияния омагниченной воды на коэффициент вытеснения  | 32       |
| §6 Влияние магнитной обработки воды на скорость коррозии промышленного оборудования                                      | 39       |
| §7 Исследование процесса вытеснения углеводородных жидкостей магнитообработанным раствором ПАВ                           | 41       |
| §8 Влияние магнитообработанного раствора кислоты на процесс вытеснения углеводородных жидкостей                          | 45       |
| §9 Промысловые исследования увеличения приемистости нагнетательных скважин   | 48       |
| Заключение   | 67       |
| Литература   | 68       |

## **Введение**

В последнее время широкое распространение получил один из прогрессивных методов интенсификации производственных процессов - магнитная обработка воды и водо-дисперсных систем (МОВ).

Черненко Ж.С., Усатенко С.Т., Калинина В.Т., Осипов Ю.Б. установили, что при действии магнитного поля на воду в гетерогенных системах отмечается ряд физико-химических эффектов: уменьшение образования накипи, образование кристаллов солей при выпаривании водных растворов не на стенках сосудов, а в объеме; изменение адсорбционных свойств, ускорение процесса растворения твердых тел и др./1,2/. В ряде работ Классена В.И. экспериментально доказано, что МОВ влияет на процесс смачивания поверхности твердой фазы /3/. Марининым Н.С, Саватеевым Ю.Н./4/ рассматриваются теоретические основы изменения концентрации растворенных газов в водно-нефтяной смеси. Последние экспериментальные исследования Миненко В.И. показали, что магнитная обработка водонефтяной смеси ускоряет процесс обезвоживания, значительно (на 25-40%) ускоряет выделение воды и соли из смеси. /5/. Опытные исследования Агаларова Дж. М. показали, что магнитные поля можно успешно использовать в ряде технологических процессов добычи нефти, в частности, положительные результаты получены в борьбе с солеотложениями при эксплуатации нефтяных месторождений на нефтепромысловом оборудовании. /6/.

В работе /7/ говорится, что общие положения статистической физики и термодинамики позволяют предположить, что воздействие



В работе /7/ говорится, что общие положения статистической физики и термодинамики позволяют предположить, что воздействие на водные растворы магнитных полей, создаваемых обычно в аппаратах для МОВ не способно привести к изменению термодинамических свойств чистой воды. Однако на практике мы имеем дело не с чистой водой, а с водными растворами различных солей, т.е. наблюдаемые изменения технологических свойств омагниченных водных растворов связаны с присутствием в воде ионов разных солей. Установлено, что катионы  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{Mg}^{++}$  и анионы  $\text{Cl}^-$  оказывают различное влияние на структурные изменения водного раствора при омагничивании. При напряженности магнитного поля до 35 кА/м уплотняющее воздействие катионов  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{Mg}^{++}$  превалирует над разрыхляющим аниона  $\text{Cl}^-$ . При возрастании напряженности магнитного поля увеличивается влияние аниона  $\text{Cl}^-$  при напряженности 40 кА/м (в случае водного раствора  $\text{CaCl}_2$ ) оно преобладает над уплотняющим воздействием катиона  $\text{Ca}^{++}$ -количество локальных разрядов наибольшее.

Изменяя напряженность магнитного поля до  $40000 \frac{\text{А}}{\text{М}}$ , Куценко А.Н. изучал зависимость качества воды при обработке ее в магнитном поле. Им установлено, что с ростом напряженности магнитного поля в воде изменяется содержание кислорода взвешенных частиц; жесткость общая, постоянная и временная; рН, вязкость и температура /8/.

Анализ литературных данных по магнитной обработке воды и водных систем позволял предположить что магнитное воздействие можно использовать как один из факторов воздействия на процессы вытеснения нефти водой при разработке нефтяных месторождений» На

принципиальную возможность использования магнитного поля для воздействия на процесс вытеснения могут указывать результаты исследования коэффициента извлечения из пористых сред. Эти обстоятельства и послужили основанием для постановки лабораторных исследований влияния магнитного поля на процесс вытеснения углеводородных жидкостей.

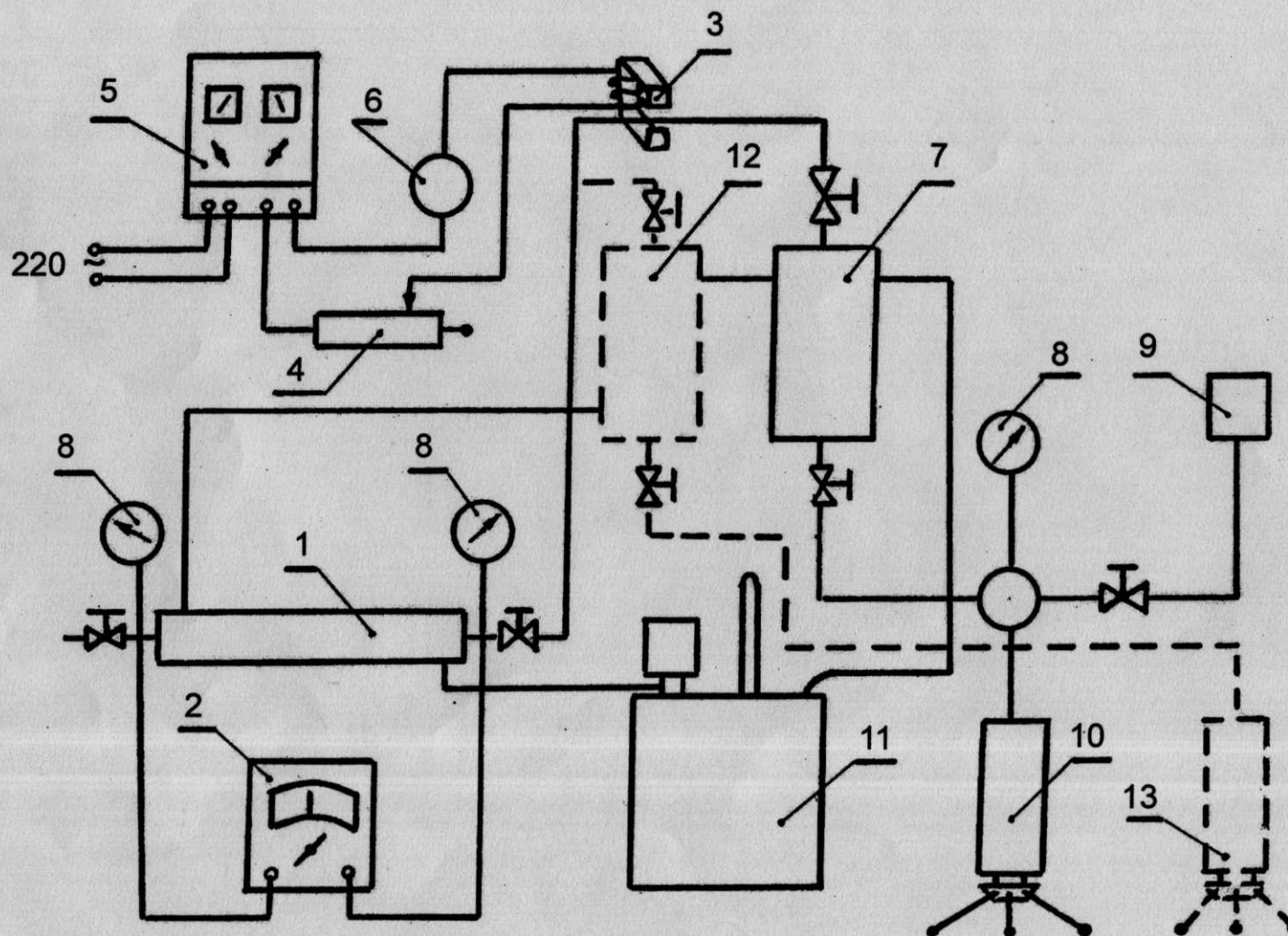
***§1. Методика проведения экспериментальных исследований  
по вытеснению углеводородных жидкостей омагниченными  
водными системами.***

В лабораторных условиях физическое моделирование процесса разработки нефтяных месторождений в первом приближении можно осуществить путем исследования поведения негазированных углеводородных жидкостей в пористых средах, имитирующих коллектор.

Исследования процесса вытеснения при магнитном воздействии проводились на лабораторной установке, схема которой приведена на рис.1.

Магнитная обработка воды осуществлялась в зазоре постоянного магнита (электромагнита) непосредственно перед входом вытесняющего флюида в модель. В случае использования электромагнита, напряженность магнитного поля изменялась в пределах от 0 до 51740 и 64476 А/м. В ряде экспериментов использовался постоянный магнит напряженностью поля в зазоре 176712 А/м. Выбор длины модели пласта и перепада давления осуществляли по критериям  $r_1$  и  $r_2$ , предложенным Эфросом Д.А./9/. В качестве модели пластов применялись цилиндрические трубы длиной:  $i_1 = 1100$  мм и диаметром  $d_1 = 34$  мм; и  $i_2 = 380$  мм и  $d_2 = 25$  мм, заполненные кварцевым песком фракции 0,15-0,3 мм, либо песком с добавлением от 5% до 30% по весу бентонитовой глины. При заполнении модели кварцевым песком пористость находилась в пределах 36,5-38%, что соответствовало объему пор - 63-69 см<sup>3</sup>, проницаемость составляло 6,0- 6,5 мкм<sup>2</sup>. При добавлении к песку 5% глины пористость снижалась до 34-35%, а проницаемость - до 2,0-

Рис.1 Схема экспериментальной установки



1 - модель пласта; 2-потенциометр; 3-электромагнит; 4-реостат; 5-выпрямитель; 6-амперметр; 7,12-бомбы РУТ; 8-манометры; 9-бачок с продажной жидкостью; 10,13-измерительный пресс; 11-термостат

2,1% мкм<sup>2</sup>, а для модели со смесью песка с 30% глины проницаемость была в пределах 0,7- 0,35 дарси и пористость - 33%. Контроль за качеством набивки осуществлялся по количеству жидкости, требуемой для 100% насыщения объема пор, а проницаемость из фильтрационной скорости жидкости при фиксированном давлении.

В качестве аналога нефти использовались углеводородные жидкости - керосин и трансформаторное масло, которые имели вязкость  $\mu_k = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ нс/м}^2$

$\mu_{\text{тр.м.}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ нс/м}^2$  соответственно.

В качестве вытесняющего агента в опытах использовались дистиллированная вода с концентрацией солей менее 0,0001 г/л, водопроводная вода с концентрацией соли около 0,2 г/л, водный раствор сернокислой меди с концентрацией 16 г/л и водный раствор хлористого железа с концентрацией 10 г/л.

В опытах в качестве насыщаемой среды коллектора использовался песок или смесь песка с 5% глинистым материалом; вытеснение происходило при постоянном перепаде давления  $\Delta P = 6 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}$ , при опытах, когда модель содержала 30% глины при различном входном давлении. По мере отмыва трансформаторного масла водой набухание глины увеличивалось, рос начальный градиент давления системы, следовательно, приходилось увеличивать входное давление.

Все эксперименты проводились в следующей последовательности:

После вакуумирования модели пласта (1), пористую среду насыщали углеводородной жидкостью, при этом замерялся объем подаваемой жидкости до полного насыщения пористой среды. Этот объем соответствовал объему пор, который контролировался взвешиванием.

Бомба РУТ (7) заполняется водой и соединяется с моделью пласта (1), как указано на рис. 1. Для соединения в опытах использовались медные трубочки диаметром 8 мм. Трубка пропускает через сердечник электромагнита (3) так, чтобы на движущую воду в трубке действовало поперечное магнитное поле. Магнитный поток в щели сердечника регулировался изменением силы тока в цепи с помощью реостата (4). Для получения постоянного магнитного поля на катушку электромагнита (3) подавался постоянный ток от выпрямителя (5).

Производится вытеснение углеводородного флюида водой. Для оценки эффективности магнитного воздействия в каждой серии опытов проводился фоновый замер, когда процесс вытеснения происходил водой, не обработанной в магнитном поле. После этого модель перенабивалась и операции повторялись с одним отличием - вытеснение осуществлялось водой или водным раствором, прошедшим обработку в магнитном поле. Ход вытеснения контролировался путем измерения вытесненного объема углеводородного флюида за определенный промежуток времени.

С целью анализа влияния магнитной обработки (МО) флюидов на фильтрах через пористые среды эксперименты проводились в несколько этапов:

1. В начале выяснилось влияние магнитной обработки на процесс однофазной фильтрации, причем в качестве фильтрующегося флюида использовался керосин и вода. Фильтрационные свойства модели также варьировались применением либо чистого кварцевого песка, либо песка с добавлением 5% глины. В опытах применялись модели, предварительно насыщенные до 100%.

2. На втором этапе изучался вопрос влияния магнитной обработки на процесс двухфазной фильтрации. В начале исследовался вопрос вытеснения керосина из моделей, имеющих высокую пористость и большую проницаемость, от 6,5 до 2,0 мкм<sup>2</sup>. Затем изучался вопрос влияния магнитной обработки на процесс вытеснения, когда условия моделирования были усложнены. В данной серия опытов использовалась модель, где в качестве насыщаемой среды применялась смесь песка и глины-30%. В качестве аналога нефти применялось трансформаторное масло ( $\mu_{тр.м} = 12 \cdot 10^{-3}$  нс/м), проницаемость модели была 0,35 дарси, при различных величинах магнитного потока при обработке.

3. Исследование влияния магнитной обработки парамагнитных растворов на процесс вытеснения. В экспериментах применялись водные растворы  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{FeCl}_3$ , которые содержали ионы  $\text{Cu}^{++}$  и  $\text{Fe}^{++}$ . Данная серия опытов была поставлена для выяснения влияния на процесс вытеснения вида вытесняющего флюида прошедшую магнитную обработку, использовались модели с 5% глинистостью материала.

4. Исследование влияния магнитной обработки на процесс вытеснения на моделях с остаточной водой. Данная серия опытов



была поставлена для изучения процесса вытеснения в присутствии остаточной воды. Последовательность операций была следующей. Модель вначале насыщалась водой, которая вытеснялась керосином при перепаде давления  $5 \cdot 10^{-3}$  МПа. Разность, между вошедшим и вышедшим объемом воды составляет остаточную воду. Фильтрация керосина прекращалась после того, как через модель проходил керосин, равный 10 объемам пор (порядка 20-40 часов), после чего керосин вытесняли водой аналогично экспериментам в предыдущих сериях - при магнитной обработке воды и без нее.

## **§ 2 Методика подбора напряженности магнитного поля**

Эффективность воздействия обработки магнитным полем целиком зависит от правильного выбора величины напряженности магнитного поля обработки. Ряд исследователей (Демчук Л.А., Михельман А.И., Сухан В.С., Костур И.Н. и тд.) пытались применить магнитную обработку воды для увеличения коэффициента нефтеизвлечения, но результаты были неубедительными /9/, а порой даже получалось отрицательное влияние магнитной обработки.

На первых порах нами величина напряженности магнитного поля выбиралась эмпирическим перебором различных значений напряженностей. Это осуществлялось определением влияния величины напряженности магнитного поля на фильтрационную характеристику пористой среды. В тех интервалах напряженностей магнитного поля, при которых улучшалась фильтрационная характеристика пористой среды, производилась обработка воды для улучшения нефтеизвлечения.

Подбор напряженности магнитного поля для эффективной магнитной обработки воды осуществлялся проведением следующего опыта. Опыты проводились на установке, схема которой приведена на рис.1 в следующем последовательности.

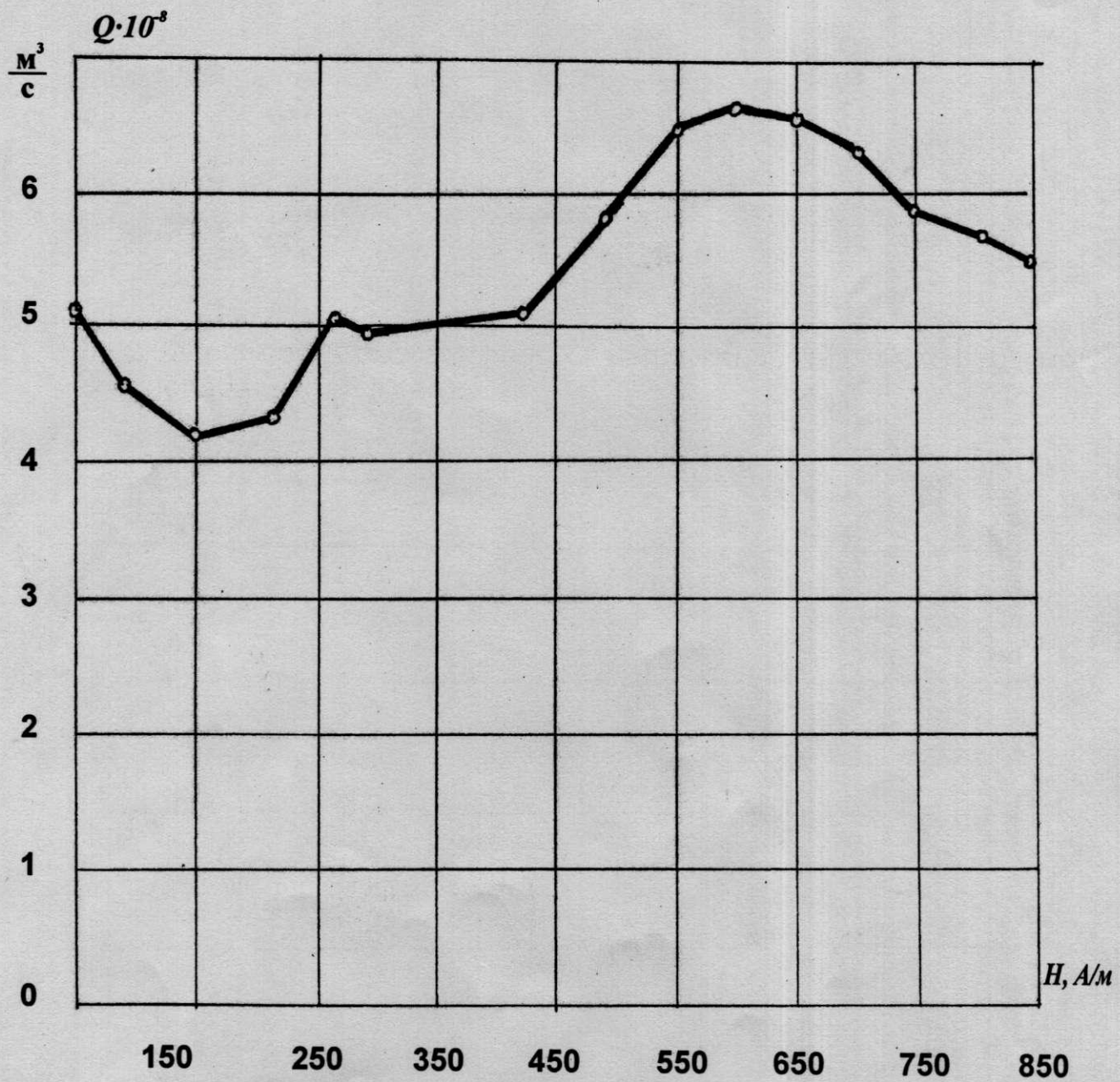
Колонка высокого давления (1) натрамбовывалась исследуемой пористой средой. Бомба ГУТ (7) заправлялась вытесняемой жидкостью, с помощью которой насыщалась пористая среда. Включением магнита (3) создавалось постоянное поперечное поле, напряженность которого регулировалась с помощью реостата. (4)

При постоянном перепаде давления на входе и выходе из пористой среды определялся расход вытесняемой жидкости в зависимости от напряженности магнитного поля, обрабатывающего воду. Строилась зависимость  $Q$  от  $H$  и по максимуму на этой зависимости определялся интервал напряженности, при котором происходила эффективная магнитная обработка.

На рис.2 приведена зависимость расхода от напряженности магнитного поля, снятая для магнитообработанной воды в карбонатной пористой среде при перепаде 0,4 Па. Из зависимости видно, что максимальный расход приходится на напряженность магнитного поля  $H=47760 \frac{A}{M}$ . В дальнейшем все опыты по вытеснению углеводородных жидкостей из карбонатной пористой среды магнитообработанной водой осуществлялись созданием постоянного магнитного поля напряженностью  $H=43760-51740 \text{ A/M}$ . Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля не могли осуществить из-за ограниченных электрических возможностей электромагнита. Приведенная на рис.2 зависимость наглядно показывает, что существуют интервалы напряженностей, когда следует ожидать отрицательного воздействия от магнитной обработки. В рассматриваемом случае это  $H=9950-19900 \text{ A/M}$ .

Было обращено внимание на то, что при изменении напряженности магнитного поля происходило изменение разности потенциала на входе и выходе из пористой среды, которая измерялась потенциометром (2). При этом максимальное значение расхода соответствовало минимуму разности потенциала. В работах академика Фрумкина А.Н. указывается, что потенциал протекания

Рис. 2 Зависимость расхода воды от напряженности магнитного поля обрабатываемой воды.



зависит от состояния поверхности и его заряда, причем имеется максимум на зависимости расхода от заряда /10/.

Давидзон М.И. принял за основу указанный факт, рассмотрел влияние магнитного поля на слабопроводящие водные системы. Далее следуя Давидзону, рассмотрим “вопрос о том, может ли магнитное поле напряженностью порядка  $10^5$ - $10^6$  А/м повлиять на свойства воды,” современная физика дает категорический ответ: “Нет, не может!”, ввиду малости поля и магнитной восприимчивости воды [11]. А раз так, то свойства воды до пребывания в поле и после неизменны.

Между тем технические эксперименты [11] указывают на то, что в воде, побывавшей в поле, процессы, особенно гетерогенные, протекают интенсивнее.

Выход из противоречия между законами физики и техническими экспериментами предлагается: а) путем учета роли ферромагнитных частиц [11]; б) введением новых структур воды (льдоподобных и собственно жидких) и изменения их соотношения в магнитном поле; в) за счет образования в поле новых веществ; г) дегазации жидкости; д) изменения структуры молекул воды [11] и многих других не более обоснованных гипотез [12].

Все перечисленные выше группы гипотез являются чисто качественными и, что еще хуже, не объясняют накопившиеся к настоящему времени экспериментальные данные. Опыты свидетельствуют: для того чтобы, произошли изменения, жидкость должна двигаться в поле с определенной оптимальной скоростью в течение некоторого времени. Увеличение или уменьшение скорости против оптимальной приводит к уменьшению активности жидкости.

Чем ниже температура воды в поле, тем более активной выходит жидкость из него. Активность жидкости после пребывания в поле исчезает не сразу - существует время релаксации. Влияние оказывает и величина магнитного поля.

Ни одна из перечисленных гипотез не в состоянии объяснить отмеченные особенности активации жидкой воды.

Ниже предпринята попытка (уж какая по счету!) объяснить активацию водных систем действием внешнего поля на примесномолекулярные образования.

Чистая вода, т. е. однородная система, состоящая только из молекул  $H_2O$ , в природе не встречается и даже в лабораторных условиях получить ее удастся только на непродолжительное время.

Природная вода, питьевая и даже дистиллят содержат твердые взвеси, ионы, газовые и др. включения. Например, частиц размером  $10^{-6}$ - $10^{-5}$  см в  $1\text{ см}^3$  питьевой воды содержится в количестве  $2,24 \cdot 10^5$  шт. В  $1\text{ см}^3$  дистиллята число примесей только на порядок меньше [12]. Обратим внимание, что размер молекул воды имеет порядок  $10^{-8}$  см. Если принять, что молекулы воды взаимодействуют только с поверхностью примесей, то в случае многослойного расположения молекул число их составит в агрегате  $10^4$ - $10^6$  шт. Число молекул воды, могущих разместиться в объеме примеси, составит  $10^6$ - $10^9$  шт. Таким образом, примесномолекулярные образования эквивалентны  $10^{10}$ - $10^{15}$  размерам молекул. Это гигантские образования!

Ясно, что не все агрегаты столь велики. Скорее это предельные, ибо при большем размере примесей они будут выпадать в осадок. Но число таких примесномолекулярных образований

достаточно велико, чтобы можно было пользоваться представлениями о водной системе, как сплошной среде.

В пространстве большие и малые образования расположены хаотично, но таким образом, чтобы жидкость в целом была электронейтральна, несмотря на наличие в ней диполей и зарядов разной природы.

В дальнейшем вместо привычного термина «вода» будем использовать другой «слабопроводящие водные системы». Это делается для того, чтобы отличить собственно жидкую без примесей воду с удельной электропроводностью  $\sigma < 10^{-6}$  См/м от природной (технической, питьевой) воды с удельной электропроводностью  $10^{-1}$ – $10^{-4}$  См/м и от растворов электролитов с  $\sigma > 1$  См/м.

Обычно действие магнитного поля связывают с магнитными моментами. Поле может действовать на магнитные моменты частиц среды. Рассматриваемые слабопроводящие водные системы представляет собой диамагнитную среду с чрезвычайно малой магнитной восприимчивостью. Поэтому-то и отвергается возможность действия слабого магнитного поля на водные системы.

Однако при малой магнитной восприимчивости слабопроводящие водные системы обладают аномально высокой среды жидкостей электрической восприимчивостью.

Покажем, то в движущихся в магнитном поле слабопроводящих водных системах возникает электрическое поле, которое и приводит к активации жидкостей.

Поведение движущейся среды в электромагнитном поле можно описать с помощью системы дифференциальных уравнений: Навье—



Стокса, Максвелла и закона Ома. Интересующие нас уравнения Максвелла для случая постоянного внешнего магнитного поля и пренебрежительно малого тока смещения запишем в форме (1,1) и (1,2):

$$\operatorname{div} \epsilon \epsilon_0 E = \rho_e; \quad (1,1)$$

$$\operatorname{rot} H = j. \quad (1,2)$$

В законе Ома (1,3), кроме обычных для магнитной гидродинамики токов проводимости и Холла, учтем априори также конвекционные токи (третье слагаемое справа):

$$j = \sigma E + \sigma v \times B + \rho_e v. \quad (1,3)$$

Здесь  $E$  и  $H$  — напряженность электрического и, соответственно, магнитного поля;  $\rho_e$  — плотность зарядов;  $\sigma$  — удельная электропроводность среды;  $v$  — скорость движения;  $B = \mu \mu_0 H$ ;  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  — постоянные,  $\epsilon$  и  $\mu$  — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды. Подставим (1,3) и (1,2) в уравнение (1,2) и проведем оценку слагаемых по порядку величины.

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &\sim H_0 / l_0 & \sigma E &\sim \sigma E_0; \\ \sigma v \times B &\sim \sigma v_0 \mu_0 \mu H_0; & \rho_e v &\sim \epsilon \epsilon_0 v_0 / l_0. \end{aligned} \quad (1,4)$$

где  $H_0$ ,  $E_0$ ,  $v_0$ ,  $l_0$  — соответствующие масштабы (характерные величины).

По порядку величины, очевидно,  $|\text{rot } H| \sim |\sigma E|$  см. равенства (1,2) и (1,3) и, следовательно,

$$\frac{H_z}{l_z} \sim \sigma E_z \text{ или } \frac{E_z}{H_z} \sim \frac{1}{\sigma l_z} \quad (1,5)$$

В магнитной гидродинамике рассматриваются среды с большой удельной электропроводностью  $\sigma = 10^3 - 10^5$  См/м. Поэтому из (1,5) следует (при  $l = 10^{-1}$  м):

$$\frac{E_z}{H_z} \sim [(10^3 - 10^5) \cdot 10^{-1}]^{-1} = 10^{-4} - 10^{-2}, \quad (1,6)$$

т. е.  $E \ll H$ . Для водных систем, обычно подвергаемых магнитной обработке,  $\sigma = 10^7 - 10^4$  См/м и, следовательно,  $E \gg H$ . Отсюда ясно, что для всякого рода оценок нельзя пользоваться уравнениями магнитной гидродинамики, как это иногда делается до сих пор. В слабопроводящих водных системах электрические поля играют значительно большую роль, чем в магнитогидродинамических системах.

Найдем электрическое поле для одного характерного случая.

Пусть слабопроводящая жидкость движется в бесконечном плоском канале со скоростью  $v$  в направлении оси  $x$ . Вектор скорости жидкости совпадает с направлением движения, т. е.

$$v_y = v_z = 0; v = v_x \text{ Жидкость движется в стационарном } \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \text{ магнитном}$$

поле. Вектор напряженности поля.  $H \perp v$  Пусть поле таково, что  $H = H_z = f(x)$ , т.е. поле меняется только вдоль движения жидкости

$$H_x = H_y = 0; \frac{\partial H_z}{\partial y} = \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0; \text{ эти условия соответствуют реализуемым}$$

способам магнитной обработки водных систем. Проектируя (1,2) и

(1,3) на оси правой декартовой системы координат и решая относительно  $E$ , получим, что образовавшееся электрическое поле имеет продольную  $E_x$  и поперечную  $E_y$  компоненты:

$$\begin{aligned} E_x &= -\rho_e v_x / \sigma; \\ E_y &= \mu_0 H_z v_x - \frac{1}{\sigma} \frac{\partial H_z}{\partial x} \end{aligned} \quad (1,7)$$

В решении (1,6), (1,7)  $\sigma$  стоит в знаменателе и поэтому кажется, что при устремлении  $\sigma \rightarrow 0$  (непроводящая среда) электрическое поле  $E \rightarrow \infty$  при любых сколь угодно малых плотностях заряда, скоростях движения и градиентах магнитного поля. Однако такое устремление  $\sigma \rightarrow 0$  неправомерно, ибо это противоречит закону Ома (уравнение 1.3). Вид равенств (1.6) и (1.7) как раз указывает на самосогласованность решения с законом Ома (1.3).

Таким образом, роль внешнего магнитного поля сводится к наведению в слабопроводящих движущихся водных системах электрического поля, которое стремится ориентировать примесномолекулярные дипольные образования и отдельные молекулы  $H_2O$ . Для образования поля и ориентации примесномолекулярных образований (особенно крупных) требуется некоторое время – то время, которое называют временем магнитной обработки.

В процессе движения в градиентном гидродинамическом поле и ориентации в электрическом поле часть примесномолекулярных образований разрушается и образуются новые. Все образования выстроиться по полю не могут. Этому мешают силы кулоновского

взаимодействия между диполями, которые приводят к смещению примесномолекулярных образований. Наличие в слабопроводящих водных системах до и после пребывания в поле примесномолекулярных образований различных размеров с неизбежностью приводит к существованию времени релаксации. В самом деле, по выходе из поля отдельные диполи воды и мелкие образования быстро теряют свою ориентацию благодаря тепловому движению молекул жидкости. Более крупные образования для дезориентации и разрушения требуют больше времени. Отсюда и существование времени релаксации (памяти). Так как существуют примесномолекулярные образования, в  $10^{10}$ – $10^{15}$  раз превышающие размеры молекул воды, то и время релаксации соответственно должно быть большим, чем у молекул воды. Как показывают эксперименты, существенную роль для активации водных систем играет режим движения жидкости в поле. С появлением пульсаций скорости (переходное течение) при магнитной обработке активация жидкости уменьшается. Можно ожидать, что активация жидкости после обработки, приводящая к интенсификации того или иного технологического процесса на величину  $\Delta G$ , будет зависеть в первом приближении от энергии, сообщаемой жидкости полем и разрушающей порядок механической энергии пульсационного движения, т.е.

$$\Delta G = f(E_M, E_\eta), \quad (1.8)$$

где  $E_M$  - энергия поля;  $E_\eta$  - энергия пульсационного движения.

Энергия поля

$$E_M = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2. \quad (1.9)$$

Поскольку и энергия  $E_M$  и  $E_\eta$  малы по сравнению с энергией теплового движения, то (1.8) можно разложить в ряд Тейлора и ограничиться линейным приближением, т.е.

$$\Delta G = AE_M - bE_\eta \quad (1.10)$$

Константы  $A$  и  $b$  — производные от  $\Delta G$  по соответствующим энергиям. Ввиду того, что в явном виде функция  $\Delta G(E_M, E_\eta)$  нам не известна, указанные константы должны быть определены из опыта. Их можно заменить одной константой:

$$\Delta G = \frac{A}{b} E_M - E_\eta = \alpha E_M - E_\eta \quad (1.11)$$

Из (1.6) (1.7) следует зависимость энергии поля от средней скорости движения жидкости. Энергия пульсаций  $E_\eta$  в ламинарном режиме равна нулю. Пульсации скорости  $v'$  возникают в окрестности переходного течения. Можно предположить, что для каждой конфигурации системы существует некоторая предельная скорость  $v_*$ , после которой возникают пульсации. В окрестности этого значения скорости среднее значение пульсаций скорости равно

$$\overline{v'^2} = \kappa(v - v_*) \quad (1.12)$$

Здесь  $\kappa$  и  $v_*$  — эмпирические константы. Энергия пульсационного движения

$$E_\eta = \frac{1}{2} \rho \overline{v'^2} = \frac{1}{2} \rho [\kappa(v - v_*)]^2, \quad (1.13)$$

где  $\rho$  — плотность жидкости. С учетом (1.6), (1.7) и (1.13) выражение (1.11) принимает вид:

$$\Delta G = \beta \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 \left[ \frac{\rho^2 e}{\sigma^2} v^2 + \mu_0 H^2 v^2 - 2 \mu_0 H v \frac{1}{\sigma} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\sigma^2} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} \rho v^2 + v \cdot v \cdot \rho - \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1.14)$$

Здесь

$$\beta = \alpha / \kappa^2.$$

Поскольку  $\Delta G(v)$  исследуем функцию на экстремум по скорости. Несложно убедиться, что при традиционно используемых при магнитной обработке параметрах вторая производная:

$$\frac{\partial^2 \Delta G}{\partial v^2} < 0 \quad (1.15)$$

что указывает на существование максимума у функции  $\Delta G(v)$ . Из равенства нулю первой производной найдем экстремальное значение скорости:

$$v_e = \frac{\beta \varepsilon \varepsilon_0 \mu_0 H \frac{1}{\sigma} \frac{\partial H}{\partial x} - \rho v_0}{\beta \varepsilon \varepsilon_0 \left( \frac{\rho^2 e}{\sigma^2} + \mu_0^2 H^2 \right) - \rho} \quad (1.16)$$

Если ввести число Рейнольдса  $Re = v_e l_0 / \nu$ , характеризующее режим движения жидкости в поле ( $\nu$  - кинематическая вязкость), то вместо (1.16) запишем:

$$Re_e = \frac{\beta \varepsilon \varepsilon_0 \frac{l_0}{\nu} \mu_0 H \frac{1}{\sigma} \frac{\partial H}{\partial x} - \rho Re_0}{\beta \varepsilon \varepsilon_0 \left( \frac{\rho_e^2}{\sigma^2} + \mu_0^2 H^2 \right) - \rho} \quad (1.17)$$



где  $Re_* = l \cdot v_* / \nu$ . Определяемый из эксперимента коэффициент  $\beta$  по предварительной оценке имеет порядок  $\beta \sim 10^{-2}$ .

Из (1.16), (1.17) следует, что оптимальная скорость движения жидкости в магнитном поле зависит от физических свойств самой жидкости, величины поля и его градиента.

Используя этот факт, была предложена методика подбора оптимальной напряженности магнитного поля при обработке вытесняющего агента.

Колонка высокого давления (I) заполняется исследуемой пористой средой. Пористая среда насыщается вытесняемой жидкостью. При этом потенциометр (2) показывает какое-то значение разности потенциала. Включается выпрямитель (5) и на электромагнит (3) подается ток, величина которого регулируется реостатом (4) и фиксируется ампервольтметром (6). По известному значению тока и параметрам электромагнита можно вычислить напряженность магнитного поля.

Изменением тока в цепи реостатом (4) добивались того» чтобы потенциометр (2) показывал нуль. При этом значении напряженности магнитного поля происходит полная компенсация поля твердой фазы и происходит максимальное извлечение вытесняемой жидкости.

В качестве примера приведем подбор значения величины напряженности магнитного поля при извлечении трансформаторного масла из пористой среды» состоящей из кварцевого песка и 30% глины путем вытеснения омагниченной водой (см. результаты опыта на рис.5). Исследования проводили по вышеприведенной методике.



При этом получено что при напряженности магнитного поля 51740А/М получена максимальная величина извлечения трансформаторного масла равная 87,5% от объема пор. В то время как при вытеснении такого; же трансформаторного масла из аналогичной пористой среды водой коэффициент извлечения составил 50% от объема пор пористой среды. Если величина напряженности магнитного поля при обработке воды равна 64476 А/м то коэффициент извлечения составил 60% от объема пор.

Отсюда видно, что знание значения величины напряженности магнитного поля при обработке воды необходимо для получения максимального коэффициента извлечения, а также отклонение от этого значения напряженности магнитного поля приведет к снижению коэффициента извлечения и, возможно даже к отрицательному воздействию.

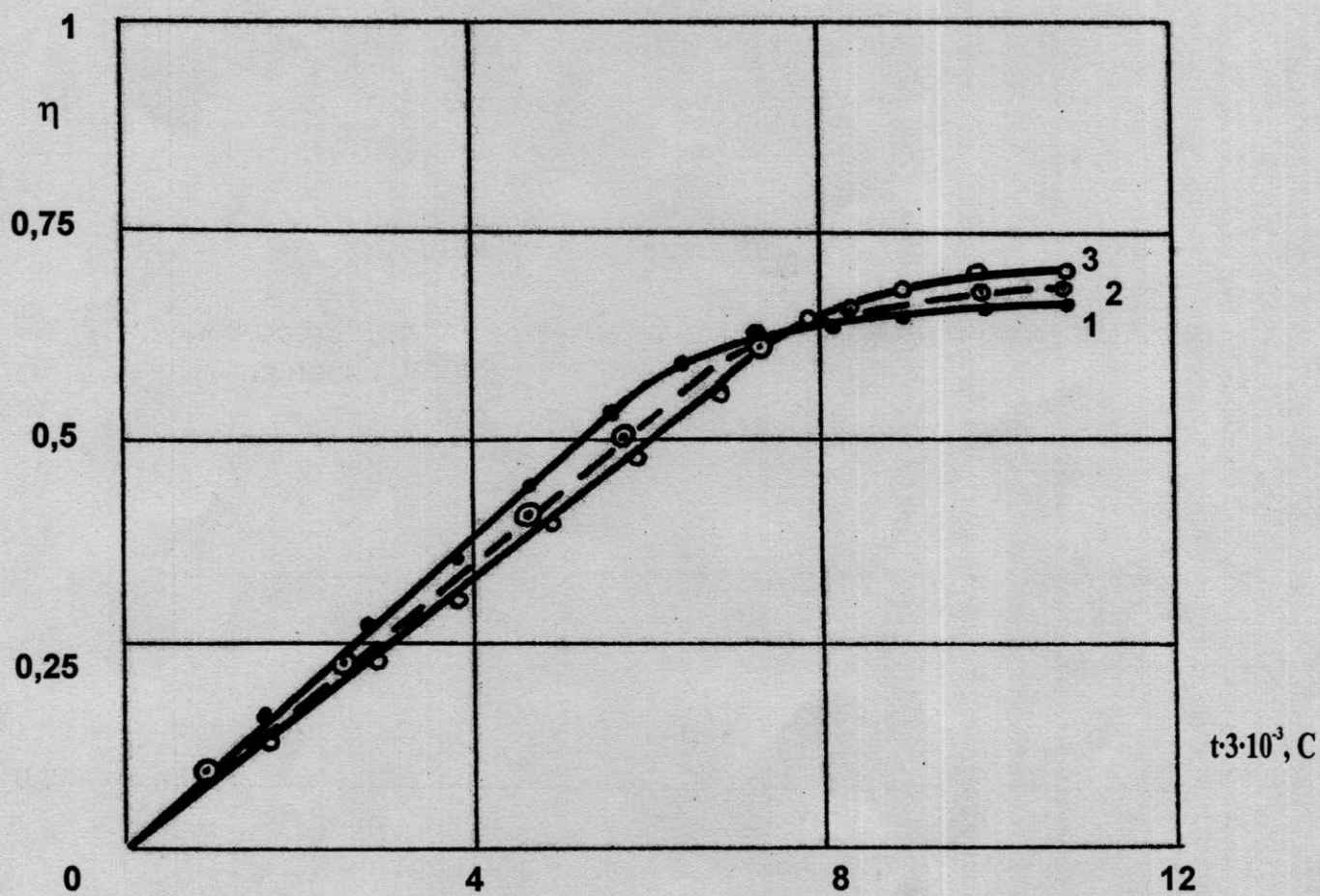
Подбор величины напряженности магнитного поля при обработке воды (для закачки в пласт) и углеводородных жидкостей и водных растворов (для проведения обработки призабойной зоны) необходимо осуществлять в моделях максимально имитирующих пластовые условия.

### ***§3 Изучение влияния магнитной обработки воды на процесс вытеснения углеводородных жидкостей***

На рис.3 представлены графика, иллюстрирующие процесс вытеснения керосина из модели, заполненной кварцевым песком. По оси ординат отложено относительное содержание керосина в модели, по оси абсцисс - время в секундах. Кривая 1- фоновая зависимость, полученная при вытеснения керосина водой. Прорыв воды происходил при объеме вытеснения керосина на уровне 0,64 первоначального. Полнота вытеснения составляет 0,67. Кривые 2,3 соответствуют процессу вытеснения при магнитной обработке воды. Если объем вытесненного керосина в безводном режиме оставался на уровне 0,63-0,64, то полнота вытеснения в этом случае достигала 0,69-0,71.

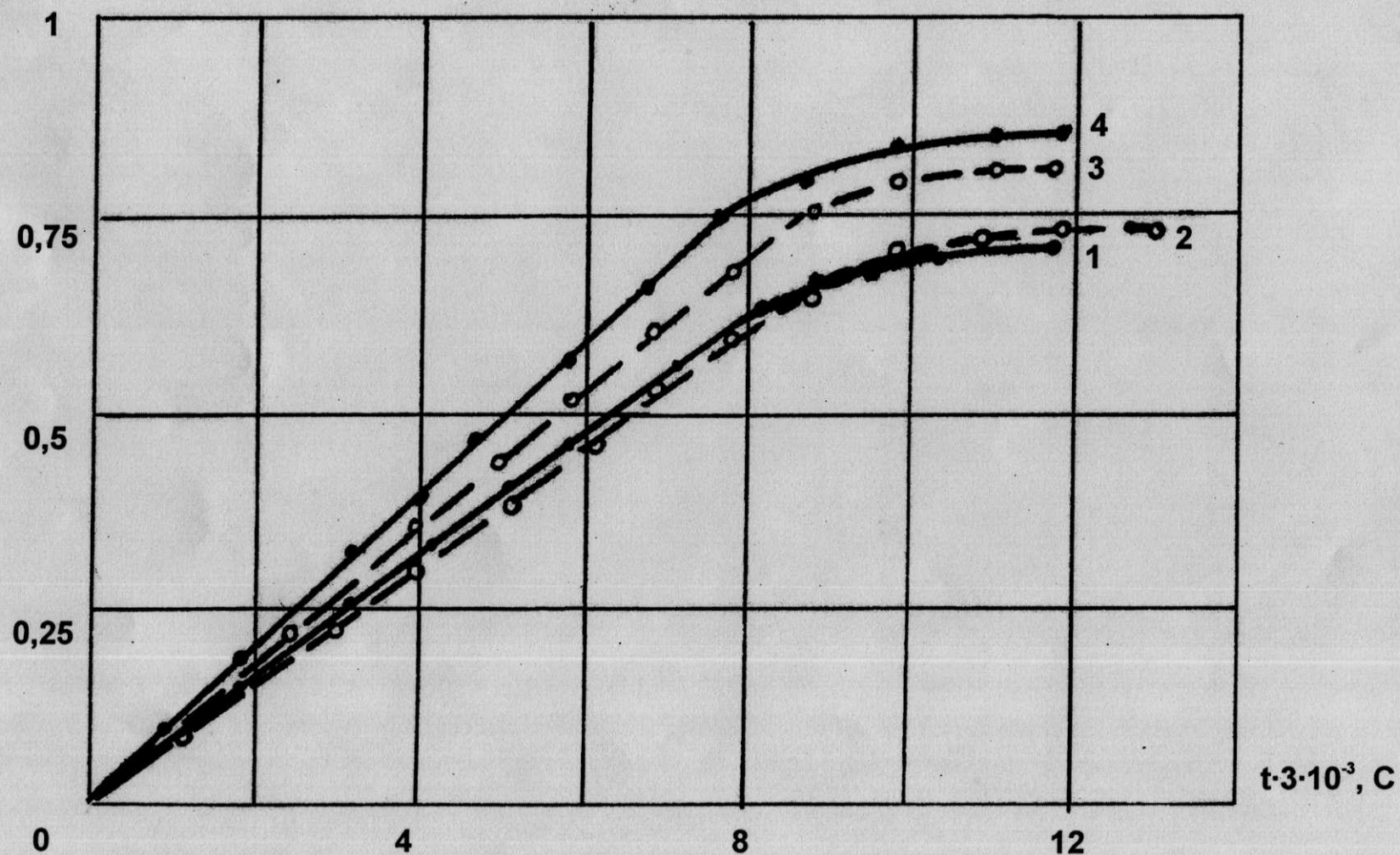
На рис.4 представлены результаты вытеснения керосина из модели, содержащей кварцевый песок с 5% добавками глины. Обозначения аналогичны рис.3. Кривая 1,2 - процесс вытеснения керосина дистиллированной и водопроводной водой без магнитной обработки. В безводном режиме из модели вытеснено 0,67-0,68 первоначального объема керосина, а полнота вытеснения - 0,70-0,715. Кривая 3 - график вытеснения керосина дистиллированной водой, обработанной в магнитном поле. В безводном режиме вытеснено 0,775 керосина, а всего - 0,82. Кривая 4 - результаты вытеснения керосина водопроводной водой, обработанной в магнитном поле. В безводном режиме вытеснено 0,773, а всего - 0,84. Опыты на модели с добавкой глины были повторены трижды. При использовании водопроводной воды, обработанной в магнитном поле, полнота вытеснения керосина наблюдалась всегда больше, чем

**Рис.3** Коэффициент нефтеизвлечения при вытеснении керосина из песка.



1 - водой, 2-3 - магнитообработанной водой

Рис. 4 Коэффициент извлечения керосина из глинизированной пористой среды (5% глины)



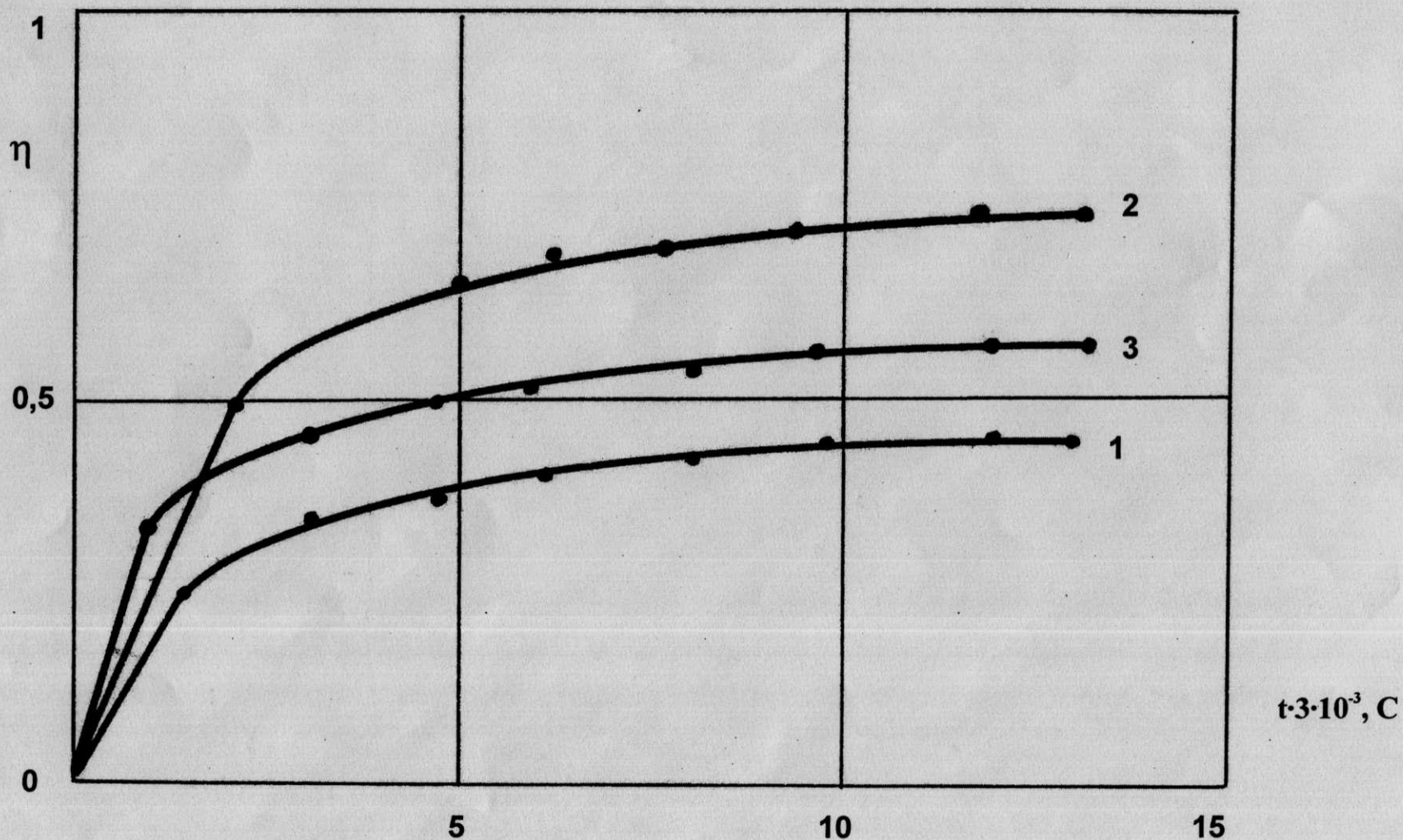
1,2 - водой; 3 - дистиллированной водой; 4 - водой, обработанной магнитным полем

при вытеснении дистиллированной водой, и составит 0,83-0,845. На рис.5 представлены результаты вытеснения трансформаторного масла из модели, содержащей 30% глины. По оси ординат отложен коэффициент вытеснения трансформаторного масла в модели  $\eta$ , по оси абсцисс  $t$  - время в секундах. Кривая 1 - процесс вытеснения без магнитной обработки водопроводной воды. Величина безводного режима составила 0,25, а полнота вытеснения достигла 0,5. Кривые 2,3-графики вытеснения при магнитной обработке воды. Кривая 2 - при обработке магнитным полем 64476 А/м. Величина безводного режима - 0,35, конечная - 0,55. При величине магнитного поля 43780 А/м эффект обработки значительно увеличился. Величина безводного режима - 0,50, полнота вытеснения - 0,875. Кроме увеличения величин вытеснения отмечается значительное сокращение времени самого процесса вытеснения. Величина безводного режима лежит в пределах 2-2,5 часов, то величина вытеснения на уровне 0,50 без магнитной обработки достигается в течение 7,5 часов, при обработке магнитным полем напряженностью  $51740 \frac{A}{M}$  достигается в течение 3,0-3,5 часов, а при величине магнитного поля напряженностью 64476 А/м - через 2-2,5 часа.

Производилось исследование влияния магнитной обработки парамагнитных растворов на процесс вытеснения керосина. На моделях с песком прорыв водных растворов происходил при объеме вытеснения керосина на уровне 0,60 первоначального. Магнитная обработка водных растворов  $CuSO_4$   $FeCl_3$  на песчаных моделях практически не отличалась от фоновых замеров. Полнота вытеснения была на уровне 0,67-0,685. При исследовании влияния на процесс вытеснения на моделях с 5% глины отмечался эффект магнитного воздействия, но в отличие от результатов вытеснения



**Рис. 5** Коэффициент извлечения трансформаторного масла из глинизированной пористой среды (30% глины)



1 - водой; 2 - водой, обработанной магнитным полем ( $H=51740 \text{ A/m}$ ); 3 - водой, обработанной магнитным полем ( $H=64476 \text{ A/m}$ )

магнитообработанной водой, отмечается замедление процесса вытеснения во времени по сравнению с фоновыми замерами. Безводный режим при вытеснении водным раствором  $\text{CuSO}_4$  составил 0,70-0,71, полнота вытеснения достигала 0,77. При использовании водного раствора  $\text{FeCl}_3$  соответственно 0,74 и 0,80. Наиболее медленный темп вытеснения получался при магнитной обработке водного раствора  $\text{FeCl}_3$ .

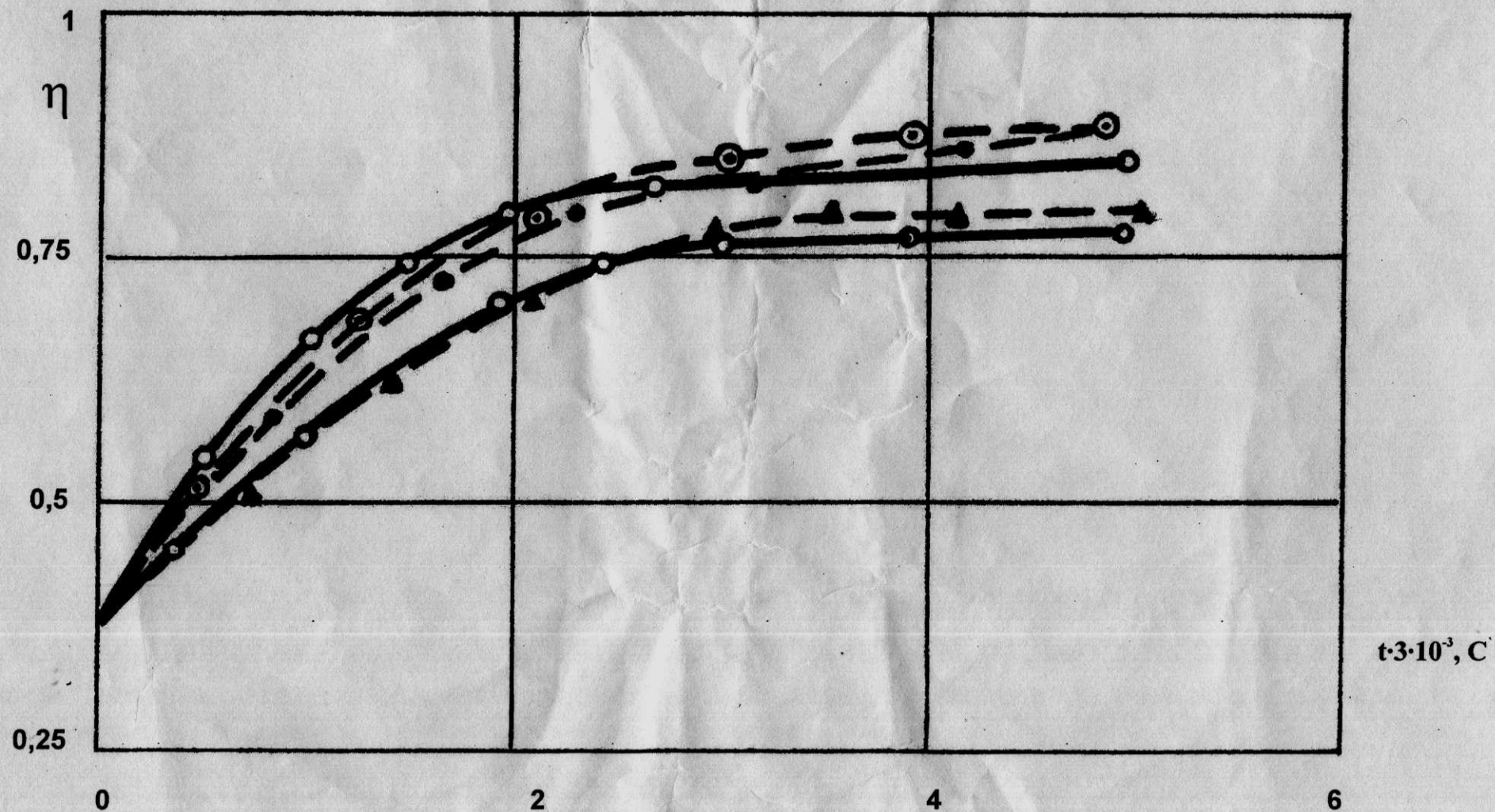
Т.к. нефть в пласте очень часто бывает с остаточной водой, производилось исследование влияния магнитной обработки на процесс вытеснения на моделях с остаточной водой.

Величина остаточной воды в серии опытов была  $38 \pm 1,5\%$ , модели содержали 5% глины. На рис. .6 представлены результаты вытеснения керосина при наличии в модели остаточной воды. Кривая 1 – отражает процесс вытеснения без магнитной обработки воды. До прорыва воды было вытеснено 0,41 первоначального объема керосина в модели, а всего в течении 5 часов - 0,46. Кривая 2 - график процесса вытеснения с магнитной обработкой только после прорыва воды при совместной фильтрации керосина и воды. До прорыва воды было вытеснено 0,429 от всего объема керосина, а полнота вытеснения увеличилась до 0,515. Кривая 3 - процесс вытеснения аналогичен графику первой кривой, но остаточная вода была предварительно обработана в магнитном поле.

Отмечается увеличение безводного периода до 0,46 объема керосина в модели, а полнота вытеснения до 0,513. Кривые 4,5 иллюстрируют процесс вытеснения при магнитной обработке воды. Для них характерно сокращение безводного режима вытеснения до  $0,32 \div 0,33$  и полноты вытеснения до  $0,40 \div 0,42$  объема пор.



**Рис. 6** Коэффициент извлечения при вытеснении керосина из глинизированной (5% глины) пористой среды с 38% остаточной воды.



1 - водой; 2 - магнитообработанной водой после прорыва воды; 3-обработанная магнитной водой остаточная вода;  
4,5 - магнитообработанной водой

В настоящее время полностью отсутствует теоретическое обоснование наблюдаемых эффектов при магнитной обработке воды, что позволяет на данном этапе исследования лишь качественно объяснять полученные результаты /12,11/. Для наших экспериментов характерно, что влияние магнитного поля на фильтрационный поток в экспериментах наблюдается только при наличии в моделях глинистого материала. На песчаной модели, после установления устойчивого потока влияние магнитной обработки на скорость потока не отличается. Усиление скорости фильтрации наиболее четко отмечается в опытах при фильтрации слабосоленых растворов.

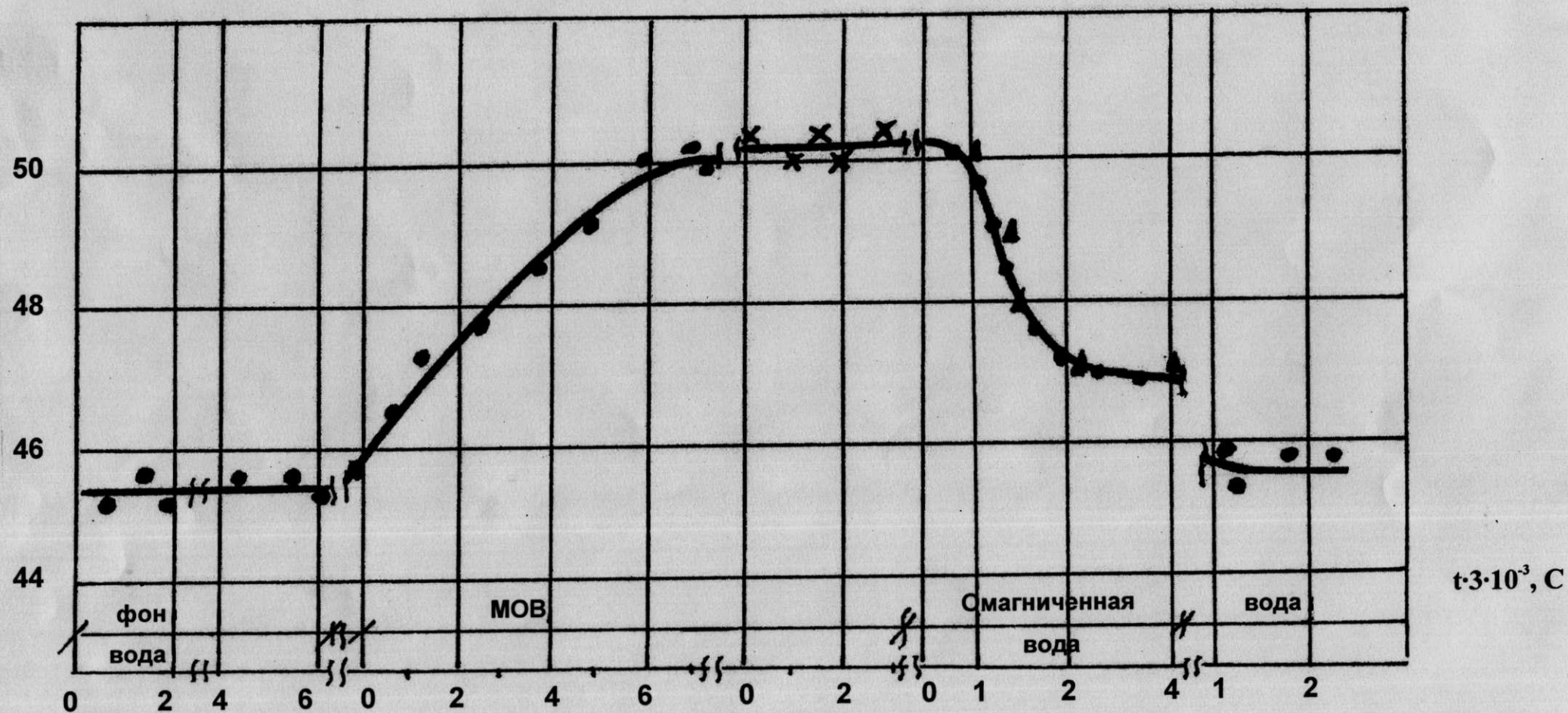
#### **§ 4 Исследование влияния магнитного поля на скорость однофазной фильтрации**

Влияние на фильтрацию магнитного поля отмечается лишь в случае фильтрации воды через пористую среду, представленную смесью кварцевого песка с глиной. Результаты эксперимента с пористой средой (кварцевый песок+5% глины), имеющей  $m = 34\%$  и  $K = 2 \text{ мкм}^2$ , представлены на рис.7, где по оси ординат отложена скорость фильтрации в  $\text{см}^3/\text{час}$ , по оси абсцисс - время в час. Средняя скорость воды без магнитной обработки была  $45,4 \text{ см}^3/\text{час}$ . Эта величина была устойчива в течение 2 суток. При наложении магнитного поля скорость постепенно увеличивается в течение первых 3 часов на 5-7%. В дальнейшем скорость фильтрации достигала  $50 \text{ см}^3/\text{час}$  и устойчиво держалась на одном уровне несколько часов. После снятия магнитного поля, спустя 1,5 часа скорость резко падает до  $47,2 \text{ см}^3/\text{час}$  и только при смене воды в подающей емкости скорость снижалась до  $45,6 \text{ см}^3/\text{час}$ , т.е. принимала величину, близкую к начальной (рис.7)

В процессе применения магнитных полей важным является достаточно ли время обработки для оказания воздействия на пористую среду (если так можно выразиться, какова " магнитная память" обработанной воды). Дело в том, что в условиях пласта применение магнитной обработки воды может найти препятствие следующего рода. В пласты закачиваются большие объемы воды в течение длительного времени. Возникает вопрос: будет ли достаточным кратковременное воздействие магнитным полем (по сравнению со временами закачки) для оказания воздействия на пласт или обработка магнитным полем воды в процессе ее транспорта в пласт самопроизвольно затухнет?

Рис. 7 Зависимость скорости фильтрации от степени омагниченности воды

$V \cdot 3 \cdot 10^{-3} \frac{м}{с}$



Относительно "магнитной памяти" было замечено следующее. При исследовании фильтрационных характеристик пористой среды от величины напряженности магнитного поля (результаты рис.7) повышенные расходы наблюдались до тех пор, пока работал магнит; включение магнита влияло на расход не мгновенно, а по истечении 3-х часов, а выключение магнита приводило к затуханию фильтрации и установлению первоначального расхода по истечении 1,5 часа (см. рис.7)

Следовательно, магнитогидродинамические эффекты будут проявляться до тех пор, пока происходит магнитная обработка воды.

Для установления оптимального периода остановки и работы при циклической закачке магнитообработанной воды были проведены лабораторные испытания на установке, схема которой приведена на рис.1. Исследования проводились совместно с Алаватовым Т.Ш. и Эйдельманом Л.Р.

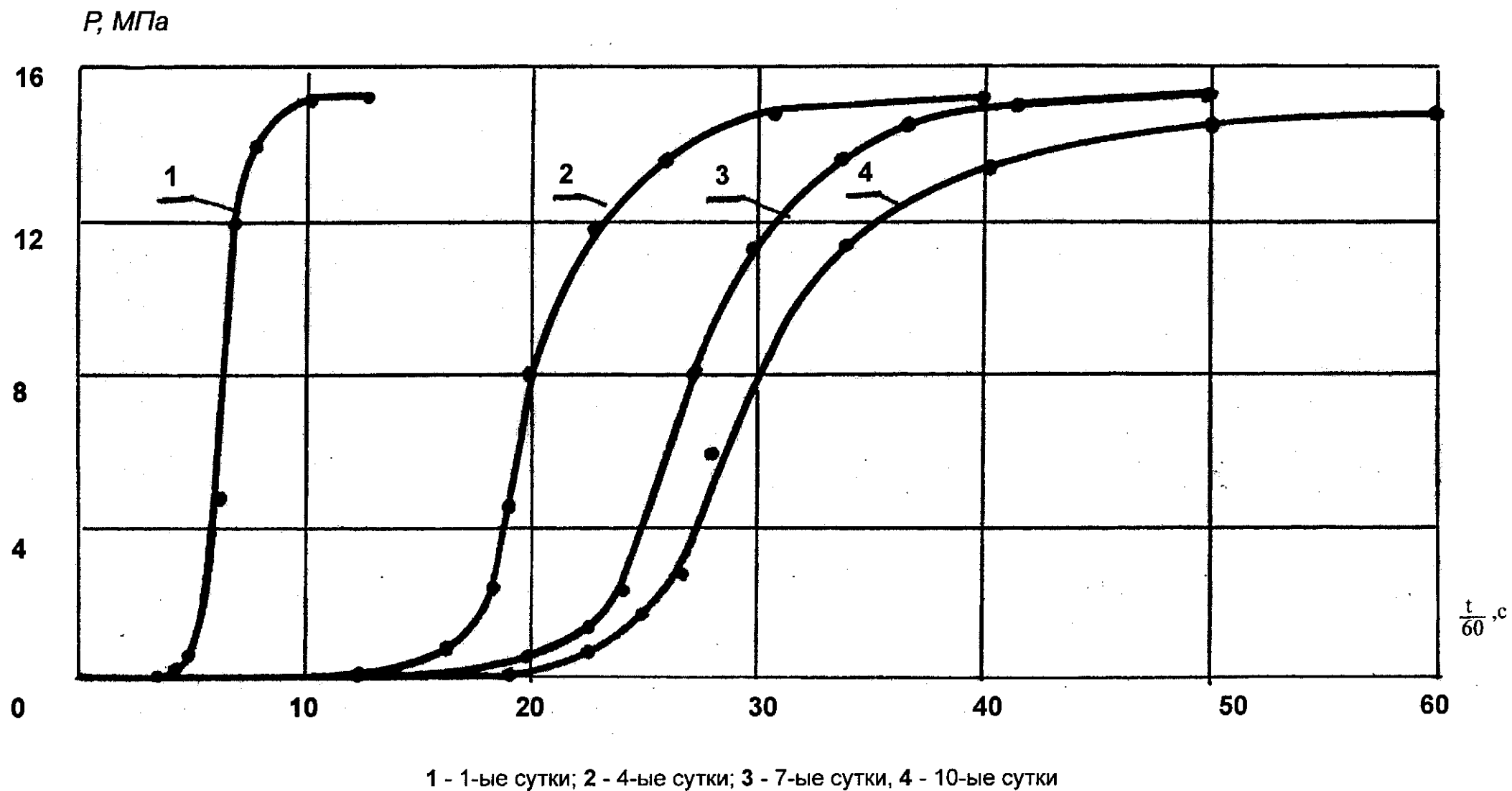
Первая серия опытов проводилась следующим образом. Модель I заполнялась пористой средой, состоящей из 70% кварцевого песка и 30% глины, монтмориллонитовой группы. После вакуумирования модели пласта пористая среда насыщалась вязкой жидкостью (трансформаторным маслом). При этом был замерен объем пор, который составил  $320 \text{ см}^3$  и определена проницаемость. При  $t = 313 \text{ K}$  вязкость масла составила  $\mu = 15 \cdot 10^{-10} \text{ нс/м}^2$ , а проницаемость  $0,22 \text{ мкм}^2$ . После этого в бомбу РУТ (7) заправлялась вода и бомба РУТ соединялась с пористой средой, как указано на рис. 1. Соединительные трубочки были из немагнитного материала - меди. Производилось вытеснение трансформаторного масла водой. Вытеснение проводилось до чистой воды на выходе.

На втором этапе эксперимента при  $t = 313\text{K}$  на гидродинамической модели пласта I снимались кривые восстановления давления (КВД). При закрытом выходе на вход пористой среды I при помощи пресса подавалась давление величиной 16 МПа, а на выходе с помощью манометра снималась возрастание давления. Результаты экспериментов приведены на рис.8, на котором приведены КВД, соответствующие 1,4, 7,10 суткам эксперимента.

Фиксировалось время восстановления до определенных уровней давления (2 МПа, 12 МПа). Зависимость времени восстановления от времени, прошедшего от начала эксперимента-выдержки представлены на рис.9. Из этих зависимостей видно, что время восстановления увеличивается с увеличением срока выдержки, что соответствует ухудшению фильтрационных характеристик пористой среды. Это можно объяснить набуханием глины. Скорость увеличения постепенно падает, что свидетельствует о предельном сроке, после которого время восстановления практически не будет изменяться. Этот срок будет определять окончание процесса набухания глины.

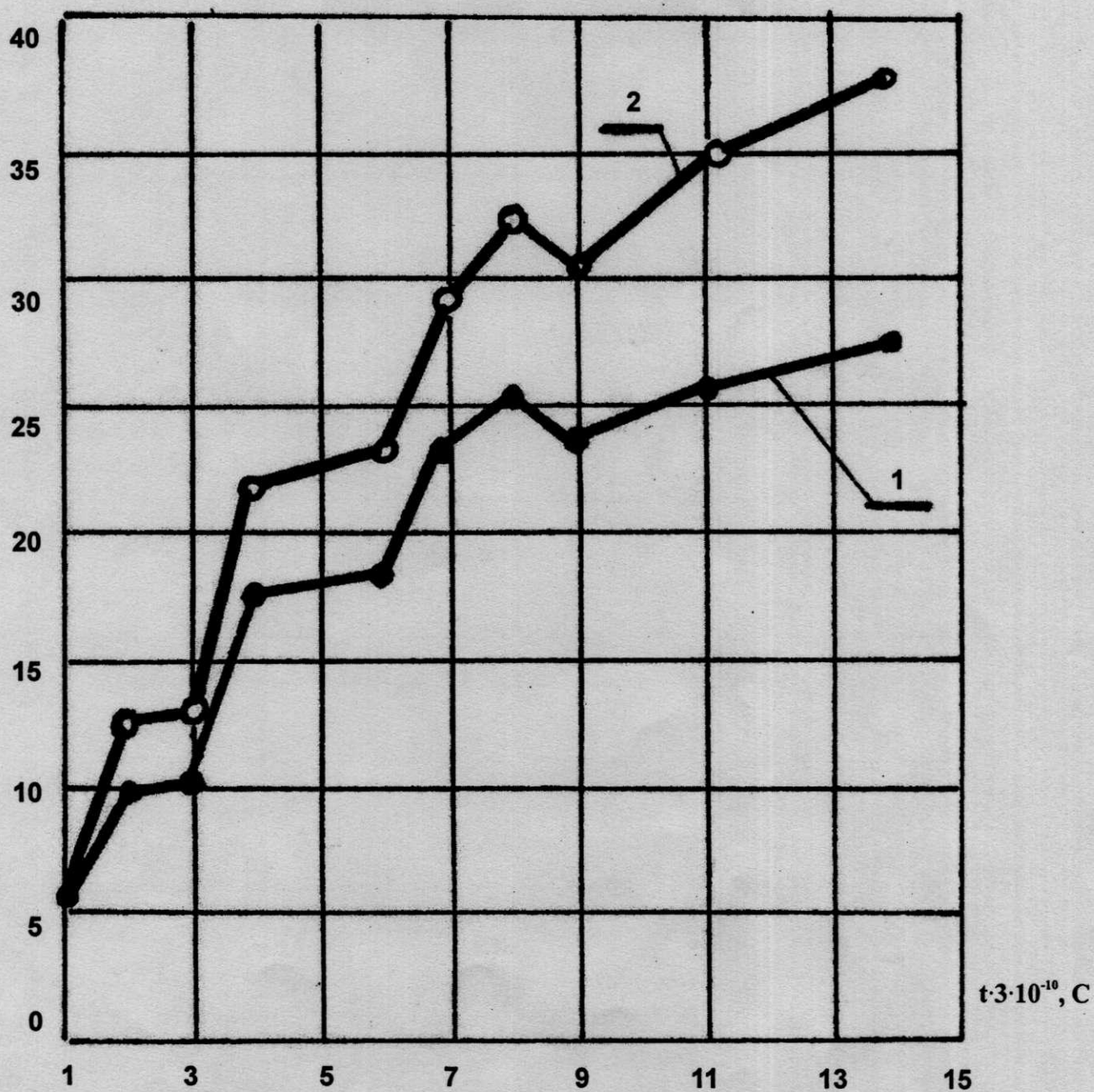
Для проведения второй серии экспериментов была взята та же пористая среда (70% кварцевого песка + 30% глины), что и в первой серии. После вакуумирования и насыщения модели трансформаторным маслом при прочих равных условиях был определен объем пор и проницаемость, которая составила  $0,23 \text{ мкм}^2$ . При вытеснении трубка, соединяющая бомбу РУТ (7) и модель пласта 1 пропусклась через сердечник электромагнита так, чтобы на трубочку действовало поперечное постоянное магнитное поле. Таким образом, осуществлялась обработка воды магнитным полем.

Рис. 8 Кривые восстановления давления воды в глинизированной пористой среде.





**Рис.9** Зависимость времени набухания глинистой пористой среды от времени выдержки в контакте с водой.



1 - на уровне давления 2 МПа  
2 - на уровне давления 12 МПа



Магнитный поток в щели сердечника регулировался изменением силы тока в цепи с помощью реостата (4). Для получения постоянного магнитного поля на катушку электромагнита (3) подавался постоянный ток от выпрямителя (5). Напряженность магнитного поля в щели сердечника (2) устанавливалась равной 51740 А/м. Вытеснение, как и в первой серии, проводилось до чистой воды. Далее при тех же условиях ( $t=313\text{K}$ ,  $P=16\text{ МПа}$ ) с интервалом в сутки снимались КВД. Результаты этих экспериментов представлены на рис.10 графиками КВД, соответствующие 1, 5, 9, 13-м суткам эксперимента.

Как и в первой серии, определялось время восстановления давления до 2 МПа и 12 МПа. Зависимость времени восстановления давления от выдержки представлены на рис.11. В этом случае наблюдается в течение первых шести суток увеличение времени восстановления на модели с необработанной водой, что так же можно объяснить набуханием глины. По истечении этого срока наблюдается уменьшение времени восстановления, происходящее за счет снятия набухаемости глинистых включений и улучшения фильтрационных характеристик пористой среды магнитообработанной водой.

Максимальное улучшение достигалось через 12-13 суток и наблюдалось без значительных изменений в течение длительного времени 47 суток). Такое значительное улучшение можно объяснить тем, что корпус модели является экраном, препятствующим диссипации магнитного поля, вследствие чего система пористая среда-остаточное масло-вода постоянно находилась под воздействием магнитного поля. В третьей серии экспериментов с целью изучения процесса диссипации магнитного поля был

Рис. 10 Кривые восстановления давления воды, обработанной магнитным полем ( $H=51740 \text{ } ^\wedge/\text{м}$ ) в глинизированной пористой среде.

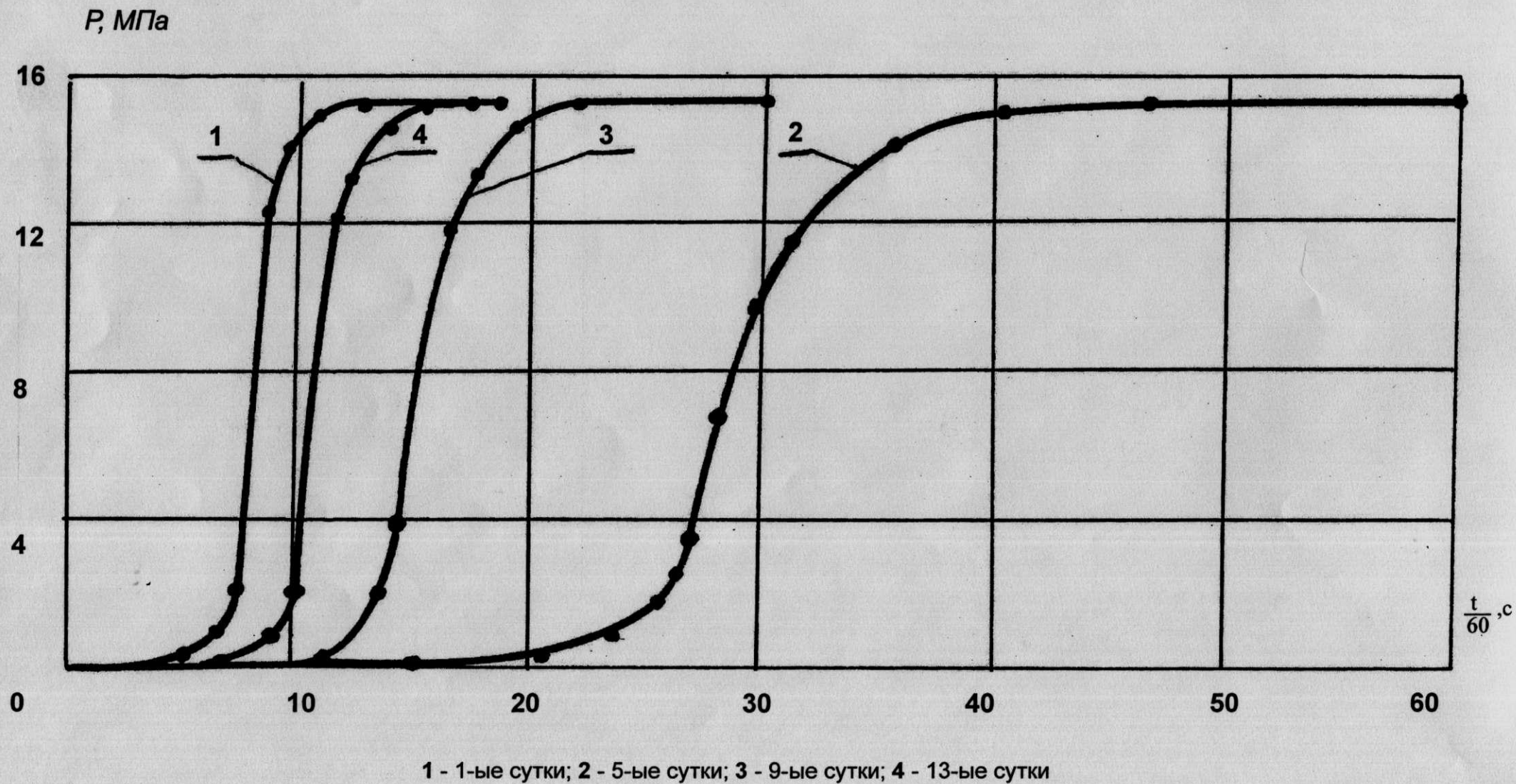
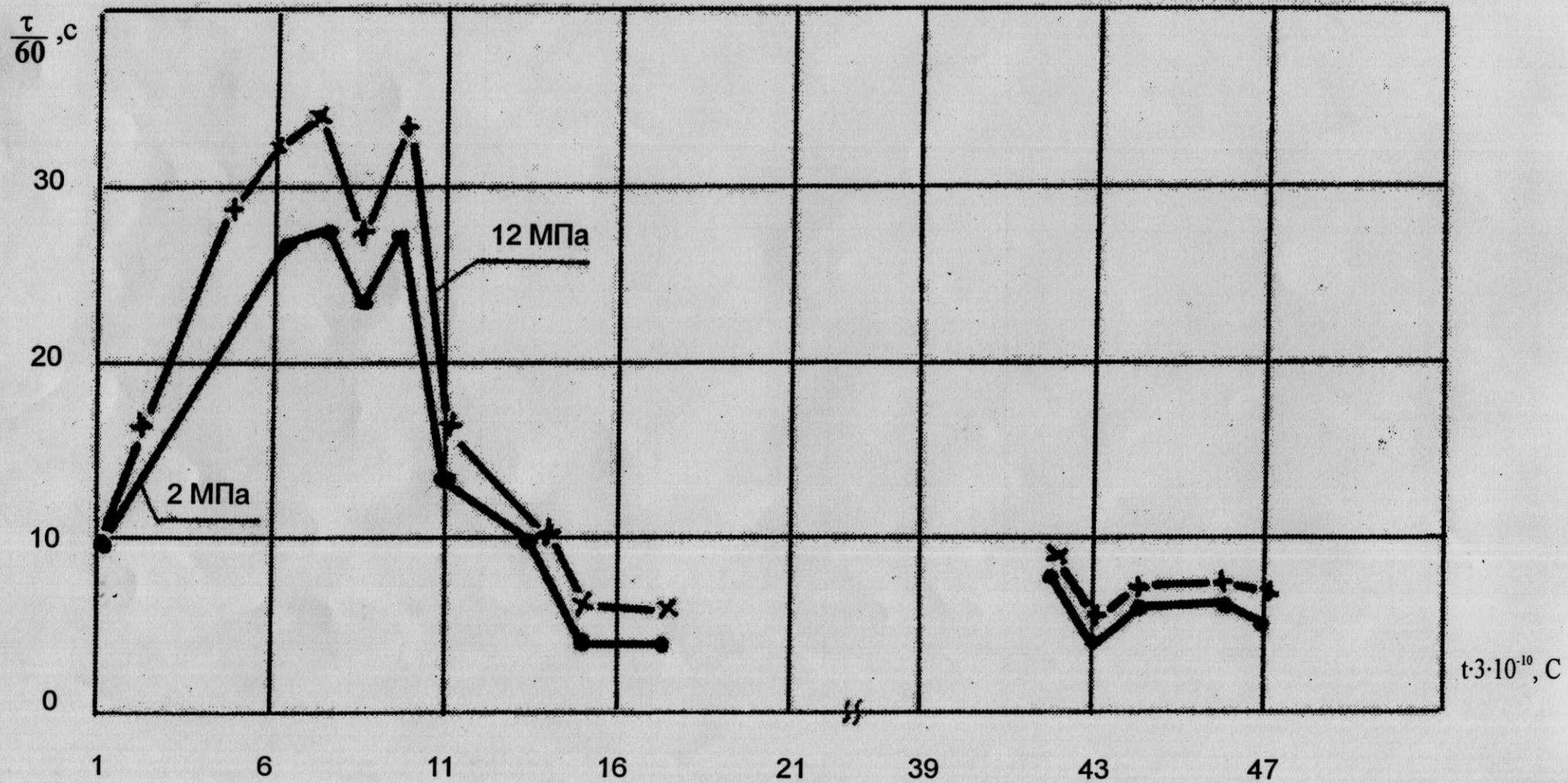


Рис 11. Зависимость времени набухания глины от времени контакта с магнитообработанной водой без диссипации магнитной энергии.



использован диамагнитный (латунный корпус) корпус модели пористой среды (колонка высокого давления).

Модель заполнялась пористой средой, состоящей из 85% кварцевого песка и 15% глины монтмориллонитовой группы. При насыщении пористой среды, состоящей из 30% глины и 70% кварцевого песка, необходимы большие перепады давления порядка 15-20 МПа, которые на латунной колонке высокого давления невозможно воспроизвести из-за низкой прочности корпуса колонки, поэтому применялась пористая среда с 15% глины.

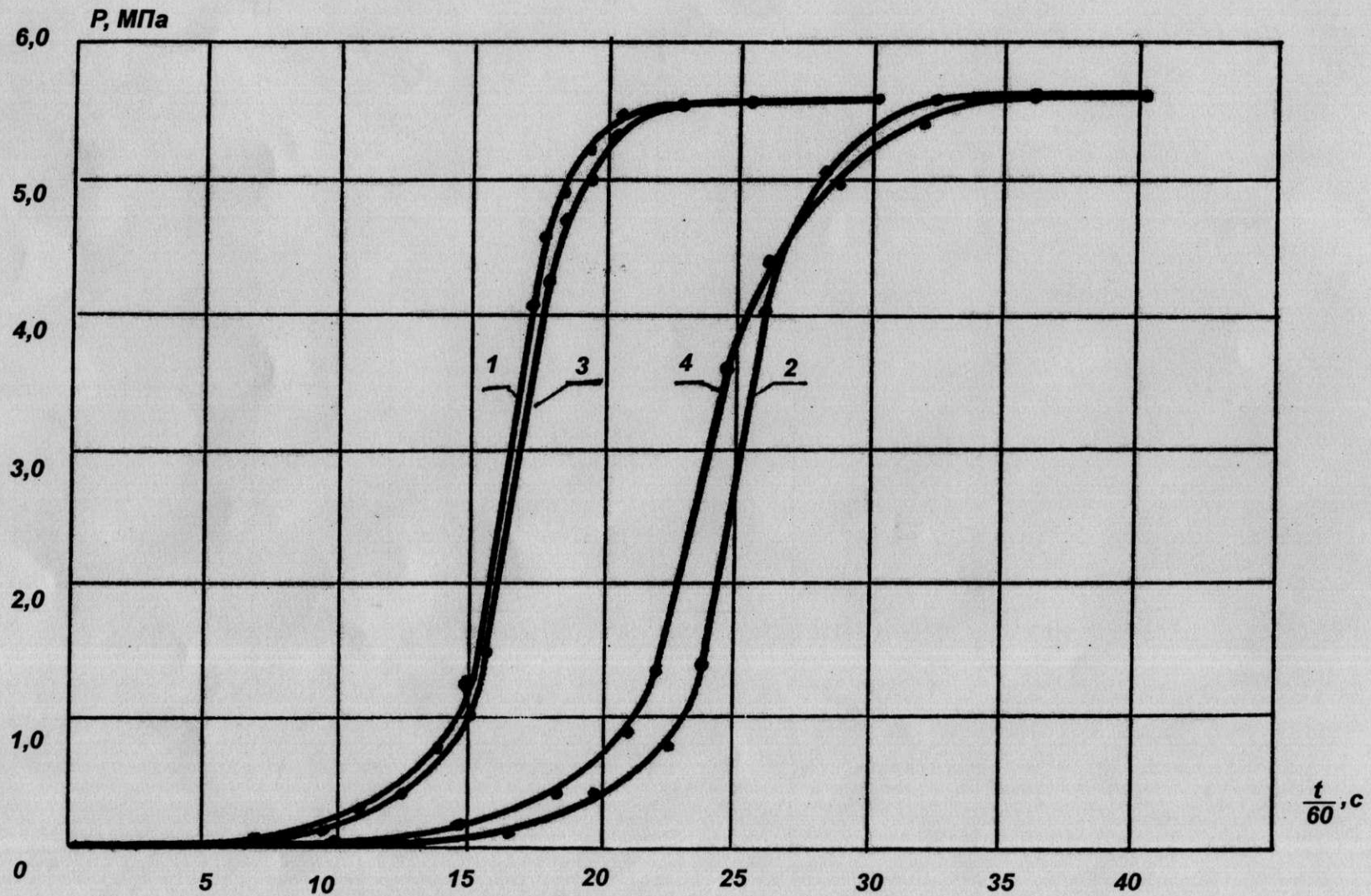
Опыты проводились по вышеприведенной методике и при тех же условиях ( $t = 313\text{K}$ ,  $H = 51740\text{ A/m}$ ) пористая среда насыщалась трансформаторным маслом, которое затем вытеснялось омагниченной водой.

По окончании вытеснения на модели с интервалом в сутки снимались КВД, для этого на входе пористой среды подавалось давление 5,7МПа. Результаты экспериментов приведены на рис. а.20 в виде графиков КВД, соответствующих 1,3,10,15-м суткам эксперимента. Отмечалось время восстановления до 1 и 5 МПа. Зависимости времен восстановления давления от времени выдержки показаны на рис.12 и 13.

Анализируя эти зависимости, можно заключить, что после снятия магнитного воздействия на пористую среду первые 10 суток характер изменения времени восстановления давления аналогичен изменению КВД для случая вытеснения омагниченной водой, а начиная с 10-х суток время восстановления увеличивается подобно случаю безмагнитного вытеснения. Это говорит о том, что за период, равный 10 суткам после снятия магнитного воздействия

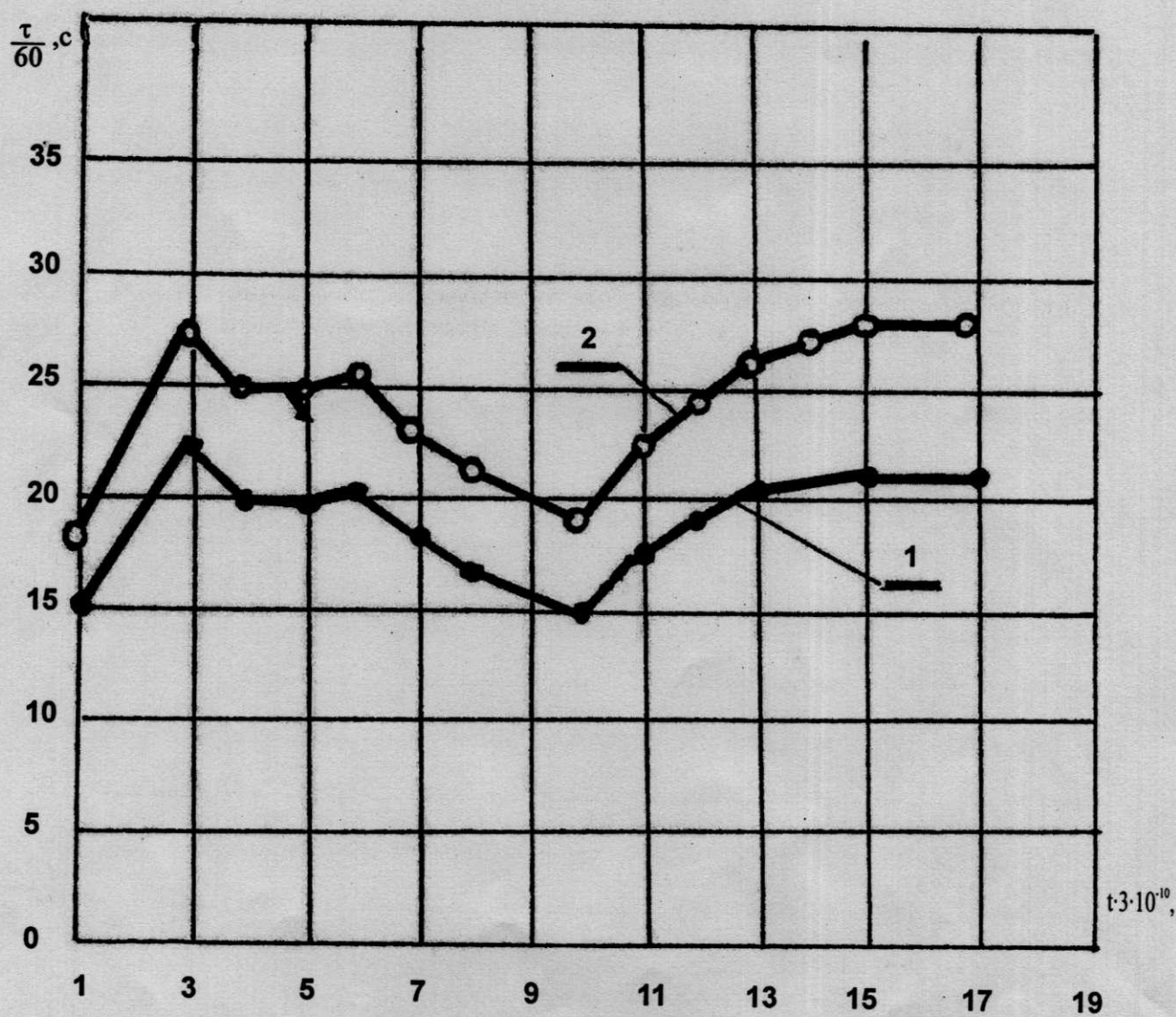


Рис. 12. КВД в латунной колонке воды с остаточным трансформаторным маслом в глинизированной пористой среде (30% глины)



1 - через 1 сутки; 2 - через 3-ое суток; 3 - через 10 суток; 4 - через 15 суток

**Рис.13** Зависимость времени от набухания глинистой пористой среды от времени контакта с магнитообработанной водой.



1 - на уровне давления 1 МПа

2 - на уровне давления 5 МПа, с учетом диссипации магнитной энергии

произошло полное рассеивание магнитного поля, после чего вода оказывает обычное воздействие, приводящее к набуханию глины.

Обобщая полученные результаты лабораторных опытов, можно сделать следующие обобщения:

1. Улучшение фильтрационных характеристик продолжалось в течение всего периода работы магнита (пока происходила магнитная обработка воды), т.е. " магнитная память" воды проявляется в течение всего периода магнитной обработки.

2. Система пористая среда-остаточная вязкая жидкость-вода реагирует на магнитное воздействие не сразу, а через определенный период времени, равный 6-7 суткам (результат второй серии экспериментов).

3. Снятие магнитного поля приводит к затуханию эффекта магнитной обработки через 10 суток (результаты третьей серии экспериментов).

4. Вода обработанная магнитным полем, обладает способностью снимать набухаемость глины, тем самым улучшая фильтрационные характеристики глинизированных пористых сред.

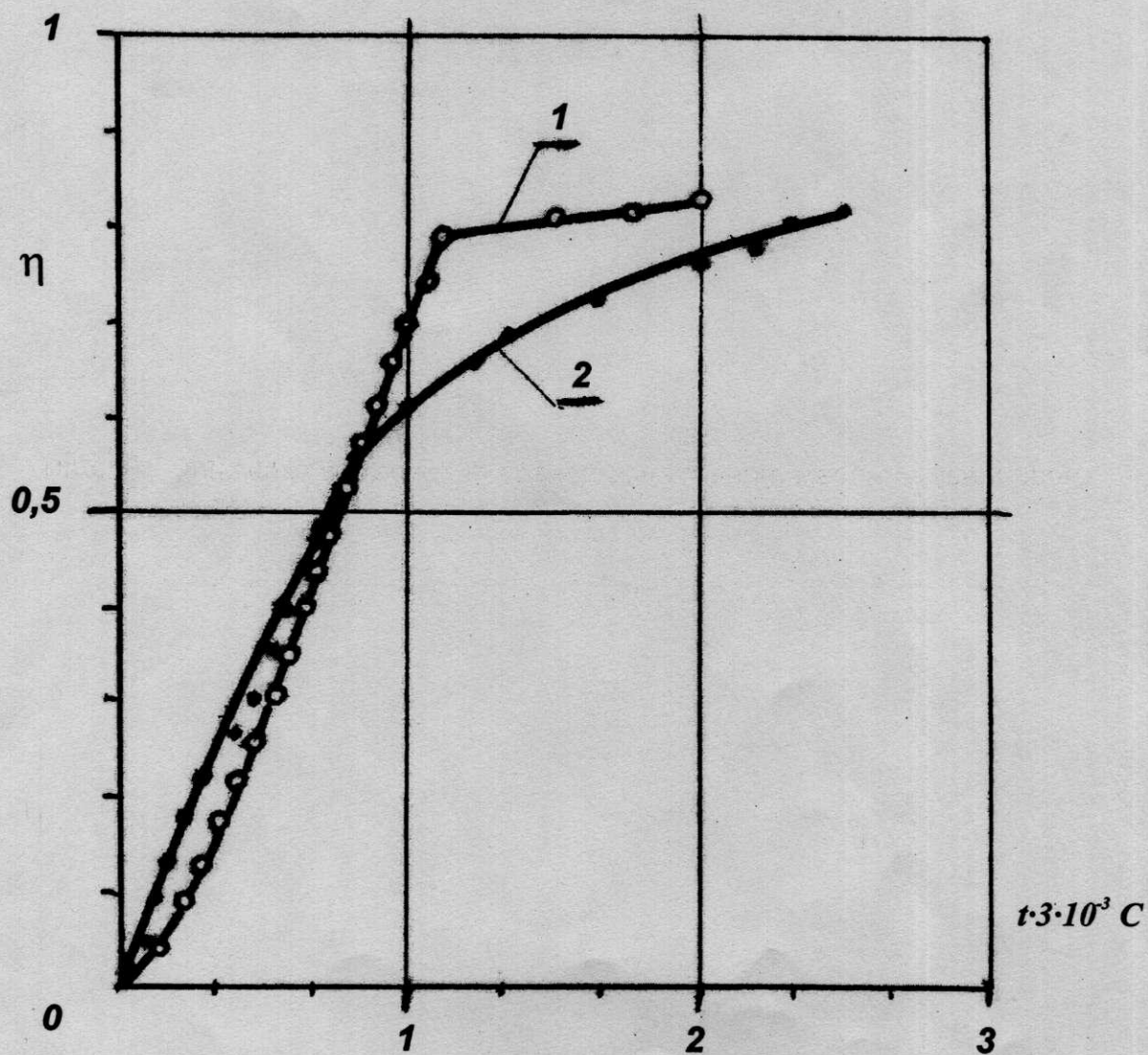
### **§ 5 Анализ влияния омагниченной воды на коэффициент вытеснения**

С целью выявления возможного механизма влияния омагниченной воды на коэффициент вытеснения совместно с Аббасовым Э.М. /13/ были проведены лабораторные исследования в четыре этапа.

На первом этапе производили вытеснение трансформаторного масла из кварцевого песка водой (кривая 1 рис.14) и водой, обработанной постоянным поперечным магнитным полем напряженностью  $51740 \frac{A}{M}$  (кривая 2 рис.14). Сопоставление  $\eta$  при вытеснении водой из глины (кривая 1, рис.5) и кварцевого песка (кривая 1, рис.7) показывает, что в глинизированной пористой среде  $\eta$  уменьшилось на 33%. При этом отмечалось интенсивное набухание глины в процессе отмыва. На основе лабораторных исследований, приведенных в 2 было предположено, что снижение  $\eta$  в глине происходит за счет набухания глины и показана возможность регулирования набухания глины закачкой омагниченной водой. На втором этапе исследования изучался вклад набухания глины в изменение  $\eta$ . Из теории сушки, разработанной академиком Лыковым В.А. следует, что при обжиге глины она теряет свойство набухания. На основе этого были проведены опыты по вытеснению трансформаторного масла из пористой среды, состоящей из кварцевого песка и 30% глины, обожженной при температуре порядка 900°C. Результаты исследований приведены в виде графиков на рис.15. Сравнение значений при вытеснении из глинизированной пористой среды и обожженной глины показывает:



Рис.14 Динамика вытеснения трансформаторного масла из кварцевого песка



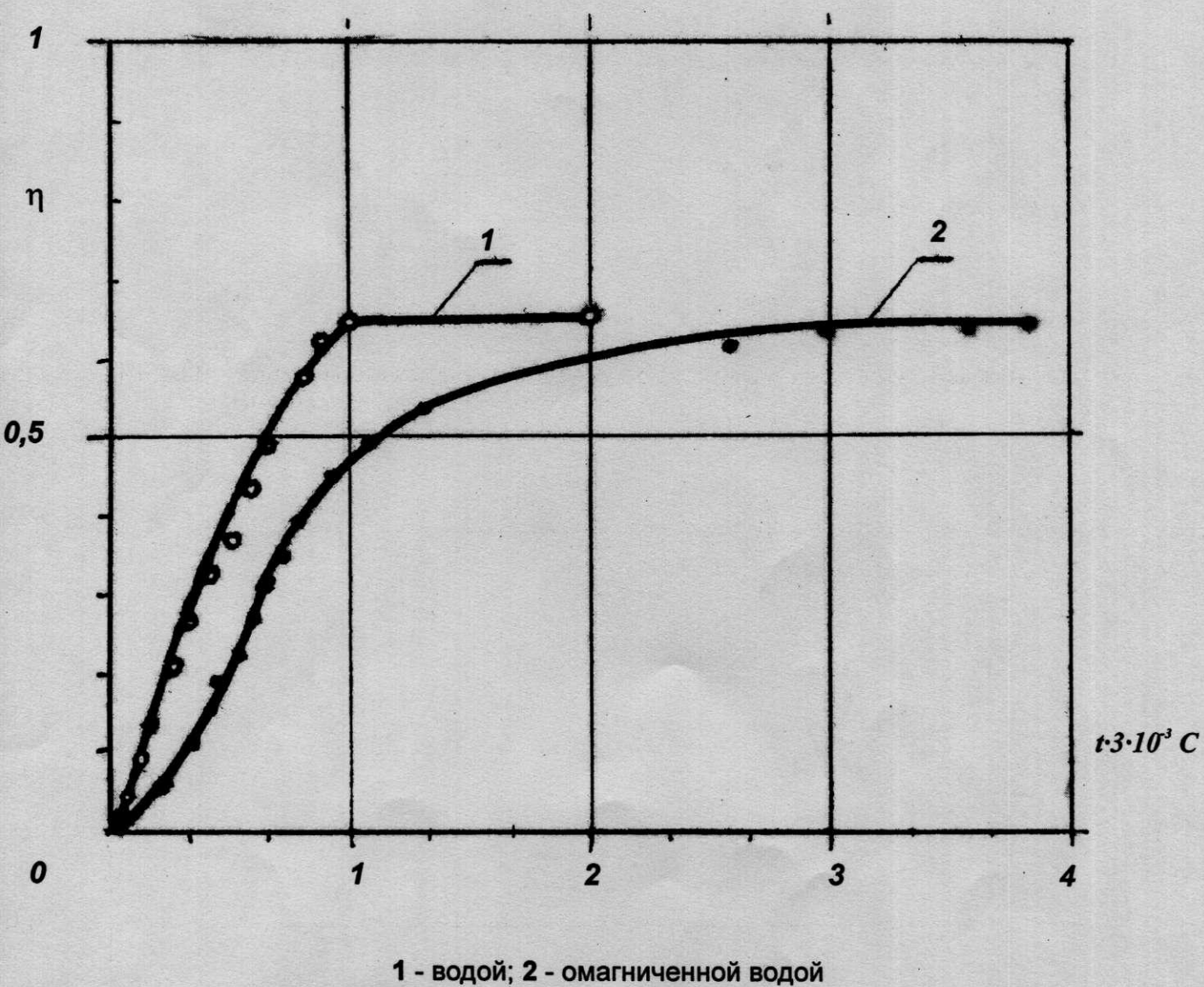
1 - водой; 2 - омагниченной водой

1) в результате обжига происходит увеличение  $\eta$  на 16 % по сравнению с процессом вытеснения из глины (сопоставление кривых 1 рис.15 и рис.5).

2) магнитная обработка воды не влияет на  $\eta$  при вытеснении из пористой среды, состоящей из обожженной глины и кварцевого песка (сопоставление кривых 1 и 2 рис.15). Отсюда следует, что только регулированием набухания нельзя объяснить увеличение  $\eta$  при вытеснении трансформаторного масла из глинизированной пористой среды омагниченной водой. Этот вывод стимулировал дальнейший поиск причин увеличения  $\eta$  в результате обработки воды постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/м. Известно /14/, что при повышении температуры ферромагнетика выше точки Кюри, индивидуальной для каждого ферромагнетика, происходит потеря магнитных свойств вещества. Это натолкнуло на мысль о том, что при вытеснении трансформаторного масла из глинизированной пористой среды омагниченной водой происходит комплексное воздействие на глину, которое выражается в изменении набухаемости поверхностных, магнитных и других физических свойств.

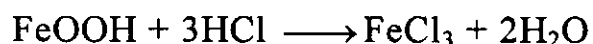
Анализ литературы показал, что на поверхности глинистых частиц существуют мельчайшие частицы соединений железа, обладающие магнитными свойствами /15/. В /16/ приводятся магнитные свойства соединений железа, которые встречаются в пористых средах осадочных пород. Было обращено внимание, что гетит ( $\alpha\text{FeOOH}$ ) имеет коэрцитивную силу  $H_0$  (величина магнитного поля, необходимая для полного размагничивания ферромагнетика), равную 55720 А/м. Следует отметить, что максимальное увеличение

Рис.15 Динамика вытеснения трансформаторного масла из обожженной глинизированной пористой среды



$\eta$  при вытеснении трансформаторного масла из глины наблюдалось при обработке воды постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/М.

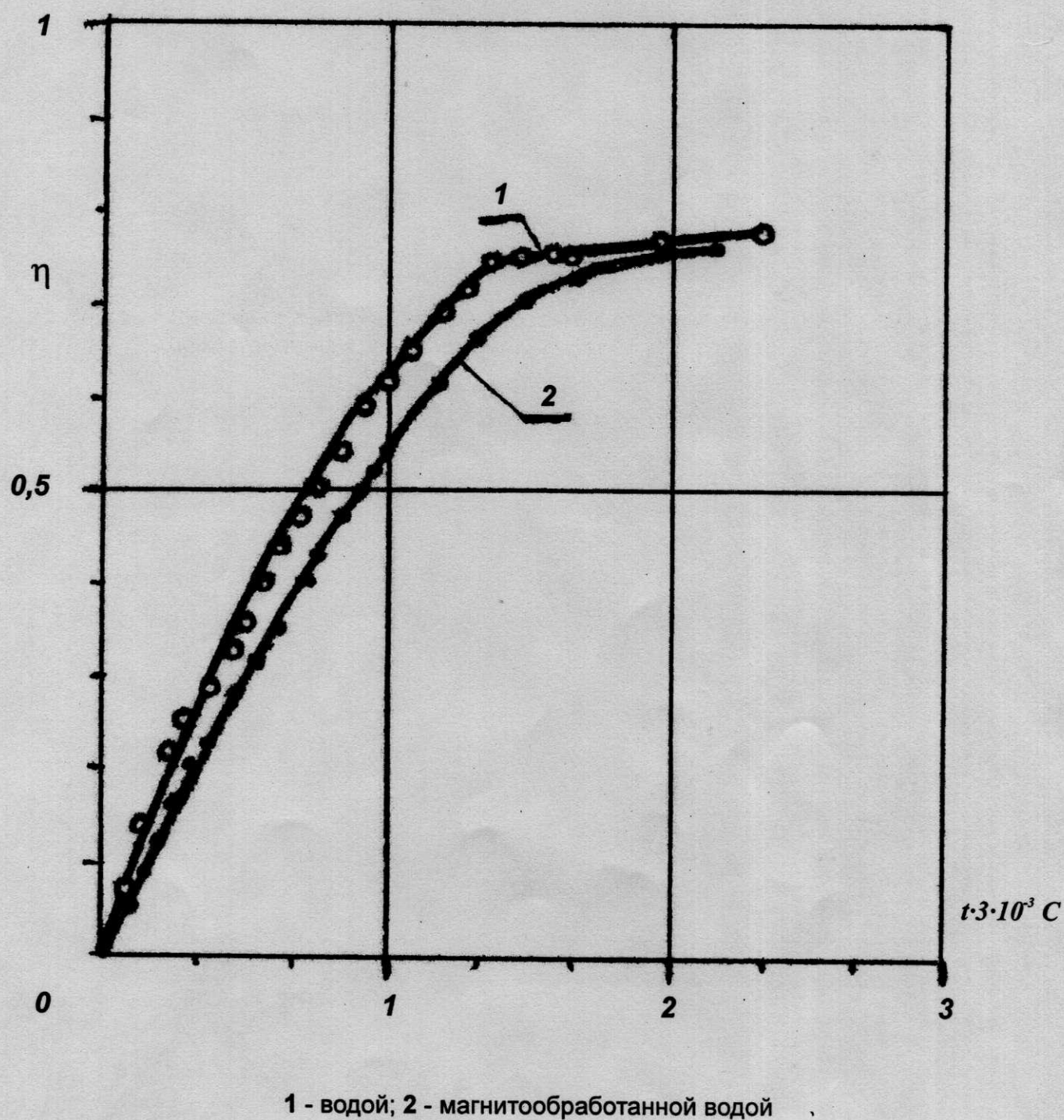
На третьем этапе исследования изучалось влияние пленок ферромагнетиков пористой среды на коэффициент вытеснения. Предполагалось, что пленка ферромагнетиков на поверхности глинистых частиц удерживает углеводородные жидкости, снижая  $\eta$  при вытеснении водой. Обработка воды магнитным полем приводит к компенсации магнитного поля ферромагнетика и увеличению  $\eta$ . Для проверки этой гипотезы предполагается направленно изменять свойства пленок ферромагнетика на немагнитные и определив  $\eta$  сопоставить со значением до изменения магнитных свойств пленок ферромагнетика. В /9/ было показано, что обработкой поверхности раствором HCl можно изменить электроповерхностные свойства  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ , не изменяя объемных свойств вещества. Поэтому для обработки глины был выбран раствор соляной кислоты. При взаимодействии гетита с водным раствором соляной кислоты получается треххлористое железо, которое не обладает магнитными свойствами. Реакция идет по следующей схеме:



Производили вытеснение водой (кривая 1 рис.16) и омагниченной водой, обработанной постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/м (кривая 2 рис.16), трансформаторного масла из глинизированной пористой среды, обработанной водным раствором HCl. При вытеснении в указанных условиях получен высокий  $\eta$ , находящийся в области  $\eta$ , полученных при вытеснении из кварцевого песка (кривые 1 и 2 рис.14) или из



Рис.16 Динамика вытеснения трансформаторного масла из глинизированной пористой среды, обработанной соляной кислотой



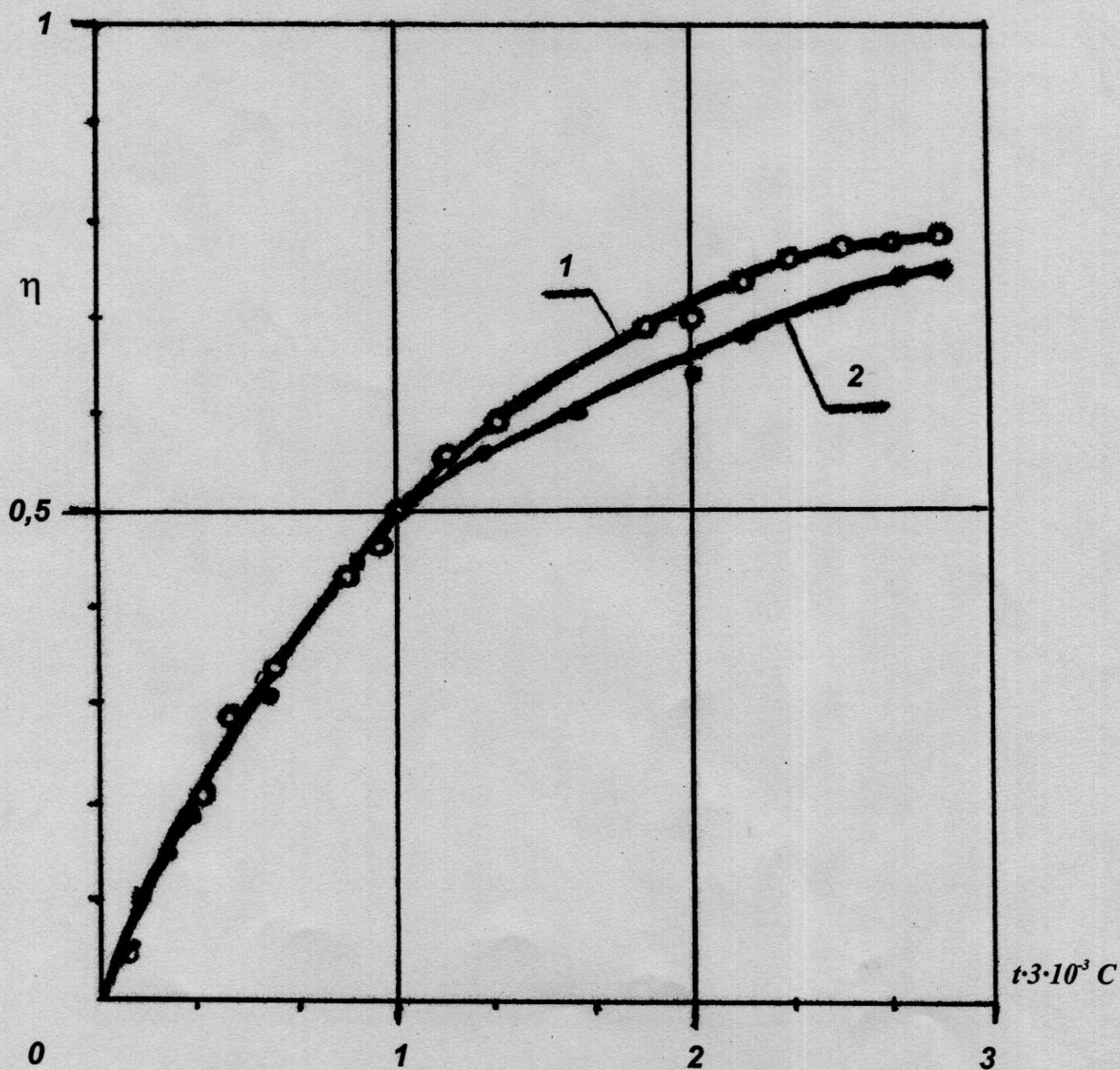
глины- водой, обработанной магнитным полем 51740 А/м (кривая 2 рис.5). В этих условиях  $\eta$  не зависит от обработки воды магнитным полем и находится на уровне  $\eta$  при вытеснении из песка порядка 80%. Результаты эти указывают на правильность предположения о наличии ферромагнетиков, в основном гетита, на поверхности пористой среды и компенсации их магнитного поля при вытеснении магнитной водой.

Для установления наличия треххлористого железа, полученного после промывки пористых сред водным раствором соляной кислоты, в лаборатории кафедры "Аналитическая химия" АЗИНЕФТЕХИМ были проведены анализы проб методом фотоколориметрического титрования /16/. Были взяты три пористые среды равного веса: кварцевый песок, карбонаты, глина, которые в отдельности промывались одним и тем же количеством водного раствора HCl. В продуктах реакции определялось количество ионов железа. Было получено, что в глине количество ионов железа в 4 раза, а в карбонатах - в 2 раза больше, чем в кварцевом песке.

В четвертой серии, которая в какой-то степени являлась контрольной, производилось вытеснение трансформаторного масла из карбонатной пористой среды. При этом карбонатная пористая среда состояла из 50% по весу карбонатов и 50% кварцевого песка. Карбонаты применялись также обожженными при температуре порядка 900°C или обработанными раствором соляной кислоты. Результаты исследований приведены на рис.17, 18, 19.

Сопоставление  $\eta$  при вытеснении трансформаторного масла из карбонатной пористой среды(кривая I рис.18) водой и

Рис.17 Динамика вытеснения трансформаторного масла из карбонатной пористой среды, обработанной соляной кислотой



1 - водой; 2 - магнитообработанной водой



Рис.18 Динамика вытеснения трансформаторного масла из карбонатной среды

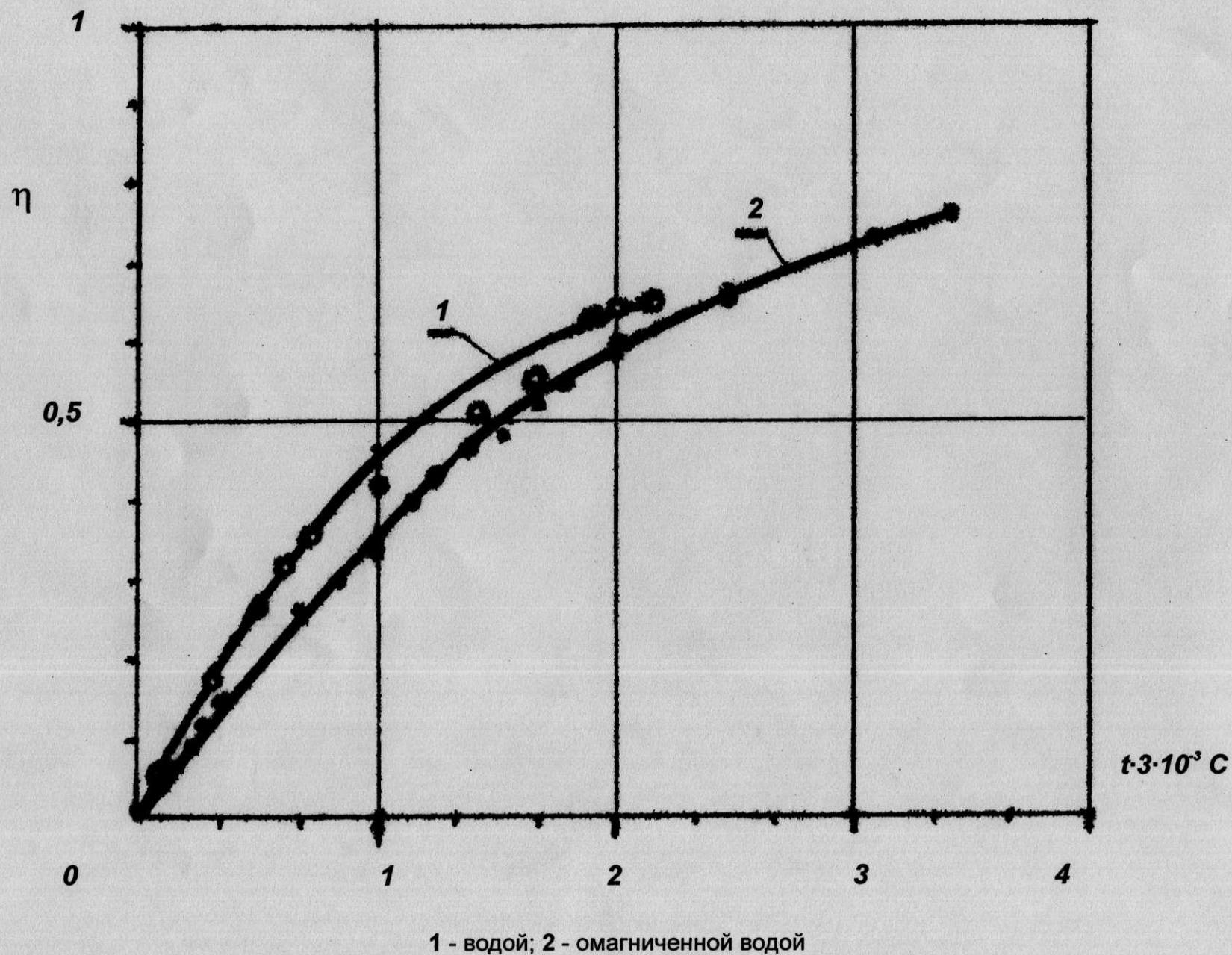
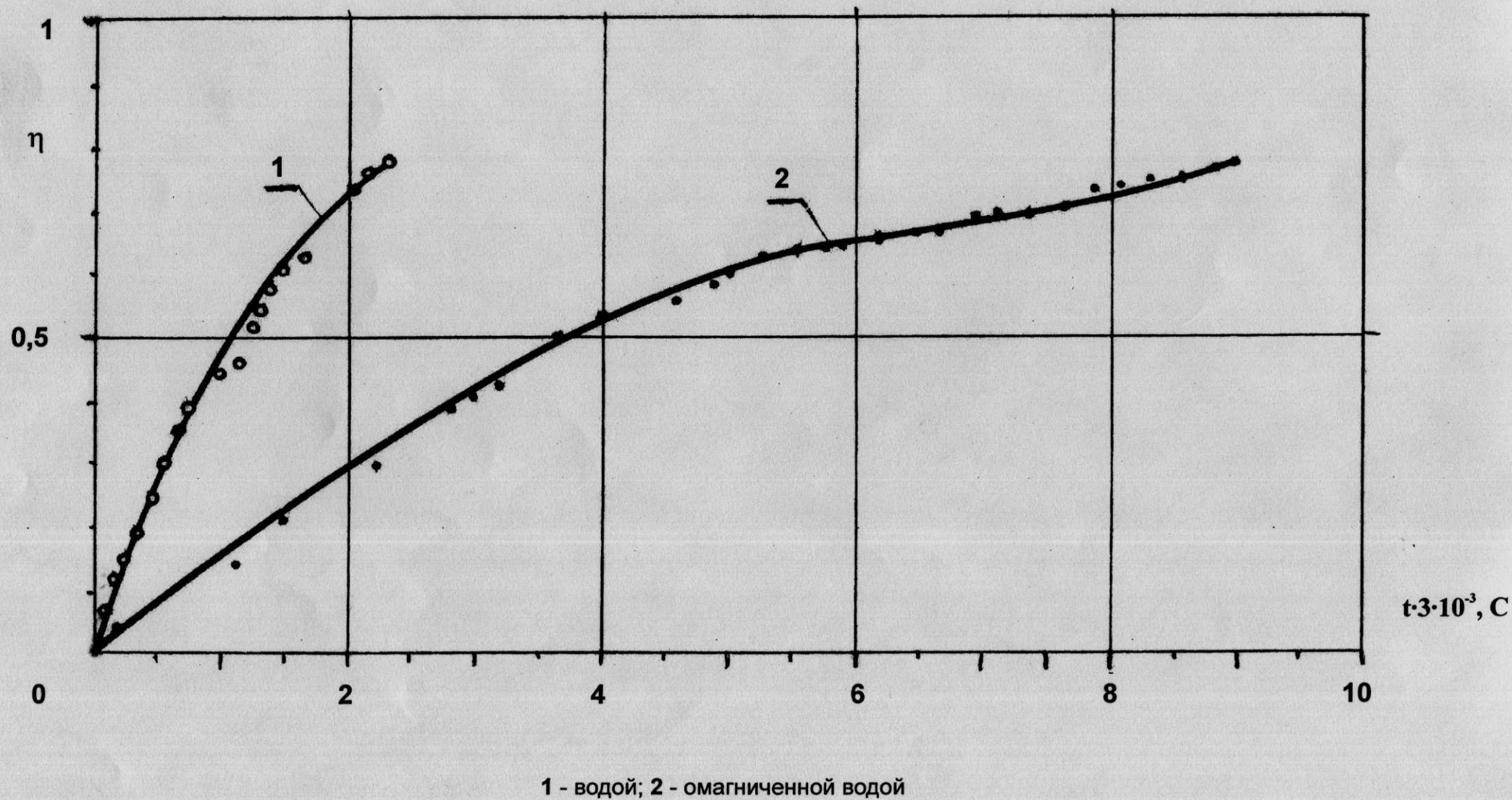


Рис. 19 Динамика вытеснения трансформаторного масла из карбонатной среды обожженной при  $T\ 1400^\circ\text{K}$



магнитообработанной водой (кривая 2 рис. 18) показывает, что за счет магнитной обработки воды  $\eta$  увеличивается на 12,5%.

При вытеснении трансформаторного масла из карбонатной среды обработанной соляной кислотой, изменение  $\eta$  при вытеснении водой (кривая I рис.17) и магнитообработанной водой (кривая 2 рис.17) составит 3,4%, что лежит в пределах погрешности экспериментальной установки. Характерно, что в этом случае  $\eta$  высокий и находится в области 80%, как и в случае вытеснения из кварцевого песка (кривые 1 и 2 рис.14), а также  $\eta$  практически не изменяется от обработки воды магнитным полем.

Обжиг карбонатов привел к увеличению коэффициента вытеснения до 80% как и в случае вытеснения водой, так и в случае вытеснения омагниченной водой (кривые 1 и 2 рис.19). В этом случае  $\eta$  практически не зависит от обработки воды магнитным полем.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что при обработке воды постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/м происходит компенсация магнитного поля пленок ферромагнетиков, в основном представленные гетитом, расположенных на поверхности твердой фазы пористой среды. Это приводит к лучшему отмыву углеводородных жидкостей, в первую очередь из глинизированных пористых сред; во вторую - из карбонатов и практически не влияет на отмыв из кварцевого песка.

Полученные экспериментальные результаты на моделях показывают принципиальную возможность использования магнитного поля для воздействия на процесс вытеснения. Влияние

постоянного магнитного поля на процесс вытеснения углеводородных жидкостей проявляется в увеличении безводного режима на 10-25% и полноты вытеснения на 18-37%. При значительном содержании глины в пористой среде более 10-15%, кроме увеличения коэффициента нефтеизвлечения отмечается сокращение процесса вытеснения в 1,5 - 2,5 раза по сравнению с процессом вытеснения водой.

В карбонатных пористых средах за счет обработки воды постоянным магнитным полем напряженностью 51740 А/м происходит увеличение  $\eta$  на 12,5% по сравнению с процессом вытеснения.

Были проведены лабораторные исследования по влиянию обработки воды переменным магнитным полем напряженностью 47760 А/м и частотой 50 гц на коэффициент нефтеизвлечения из глинизированной (30% глины) пористой среды трансформаторного масла. Насыщенная углеводородная жидкость вытеснялась водой и водой, обработанной переменным магнитным полем. Коэффициент вытеснения в обоих случаях был примерно одинаков (разница составила около 2%), что было отнесено за счет погрешности установки.

Отмеченные эффекты и закономерности могут быть использованы для повышения нефтеотдачи и значительно уменьшить сроки разработки месторождения.

Однако, следует отметить, что 20% остаточной нефти после применения омагничивания, обжига, кислотной обработки и т.д., а также полиэкстремальный характер зависимости  $Q$  от  $H$  говорит не об однозначном процессе, а указывает на сложную и

многостороннюю зависимость процессов нефтеизвлечения. Следовательно, один параметр вязкость, теплопроводность или напряженность магнитного поля может влиять на какую-то малую часть процесса вытеснения и традиционный подход как к однопараметрическим системам неприменим. Это даёт возможность увеличить нефтеотдачу за счет комбинированных (синергетических) методов воздействия на пласт, которые будут рассмотрены далее.

## **§ 6 Влияние магнитной обработки воды на скорость коррозии промышленного оборудования.**

При закачке омагниченной воды возникла необходимость исследовать ее коррозионное воздействие на насосно-компрессорные трубы и нефтепромысловое оборудование. С этой целью были проведены лабораторные исследования на установке, представляющей собой стеклянную трубу длиной 1,7 и диаметром 0,05 м, в которой помещались образцы исследуемого металла. Пластовая вода из ёмкости с добавлением ингибитора коррозии прокачивалась с помощью центробежного насоса через стеклянную трубу с исследуемыми образцами.

Изучение влияния магнитного поля на скорость коррозии осуществлялось следующим образом. В агрессивную среду, состоящую в основном из сернистой воды, вводили ингибитор марки ИНХП. Это делалось для того, чтобы максимально снизить скорость коррозии металлов за счёт существующих методов. При обработке магнитным полем в случае изменения скорости коррозии процесс должен был осуществляться именно за счёт магнитной обработки. Скорость коррозии исследуемого материала определялась известным гравиметрическим методом, при котором используют Формулу /6/:

$$K = \frac{q_0 - q}{S \cdot \tau} \left[ \frac{\Gamma}{M^2 \cdot 4} \right]$$

Где  $q_0$ -вес образца до эксперимента;  $q$ - вес образца после эксперимента;  $S$ -поверхность образца;  $\tau$ -время проведения эксперимента.

Образцы металлов цилиндрической и пластинчатой формы изготавливались по известной методике [7], помещались в стеклянную трубу, где при помощи центробежного насоса создавалась циркуляция агрессивной среды (скорость циркуляции - 3 м/с). Через определённое время измерялась скорость коррозии. Полученный защитный эффект определялся отношением скоростей коррозии без действия агрессивной среды ( $K_0$ ) и с ингибитором или ингибитором, пропущенным через магнитное поле ( $K$ ):

$$Z = \frac{K_0 - K}{K} 100\%$$

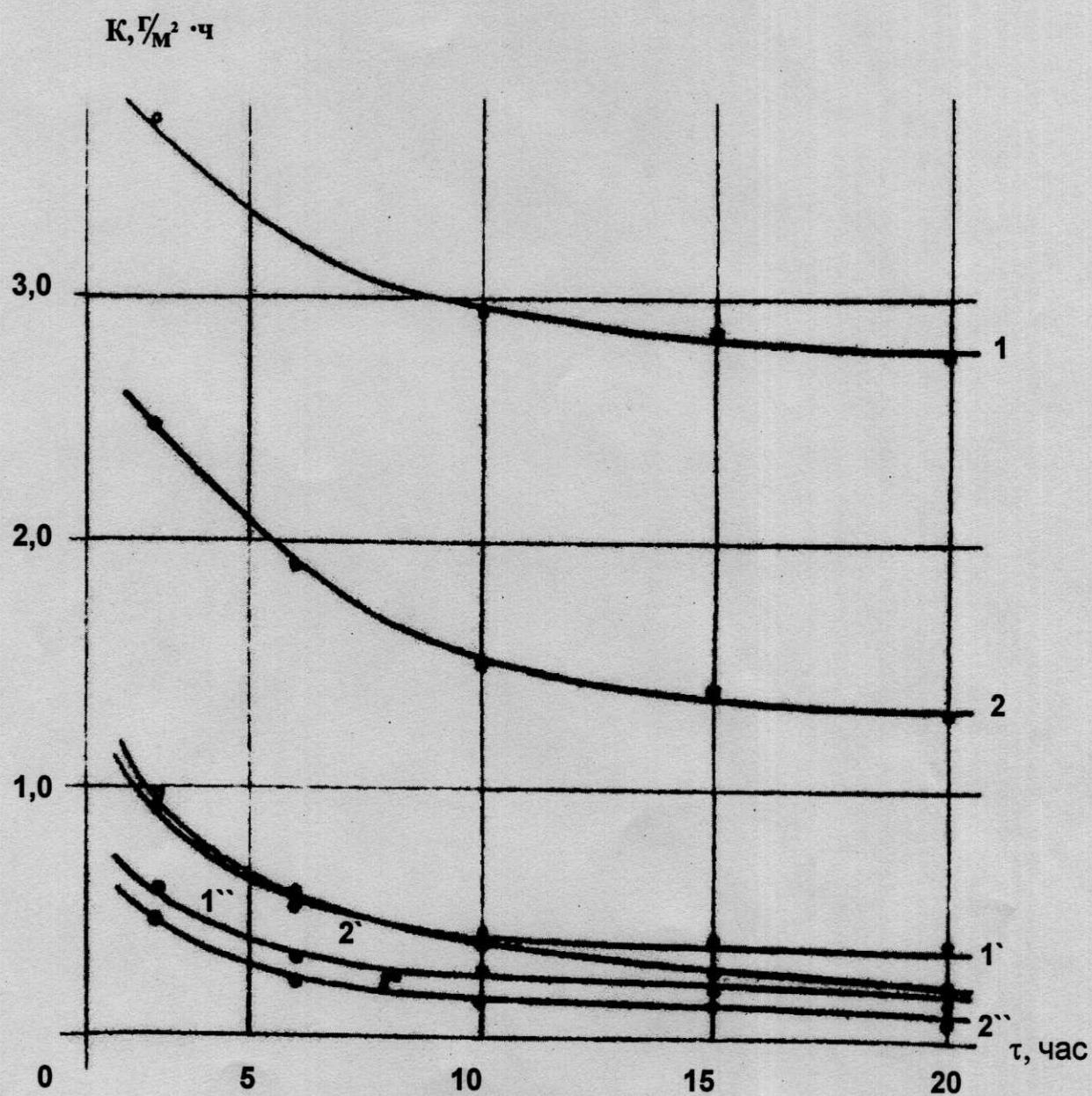
Исследования проводились на агрессивной среде без добавок ингибитора (0,5% от общего объема жидкости). Результаты этих экспериментов представлены на рисунке.

Для выяснения влияния магнитного поля на процесс коррозии, циркулирующую агрессивную среду пропускали через поперечное магнитное поле напряжённостью 600 эрстед. Полученные результаты для сталей марок "Д" и "У21" представлены на рисунке.20

В результате магнитной обработки агрессивной среды скорость коррозии уменьшилась для стали марки "Д" на 44, марки "У21" - на 50%.



Рис.20 Изменение скорости коррозии во времени



### **§ 7 Исследование процесса вытеснения углеводородных жидкостей магнитообработанным раствором ПАВ**

В данном параграфе исследуется возможность закачки омагниченного раствора ПАВ с целью повышения пластового давления и, следовательно, возможности поддержания высокого забойного давления, а также для повышения эффективности проведения обработки призабойной зоны скважин.

Исследования производились в лабораторных условиях путем физического моделирования. Схема установки и методика экспериментирования аналогичны рис.1, только в этом случае вытесняющий агент составлял 0,01; 0,05; 0,1% раствор тринатрийфосфата в воде, обработанного постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/м. Вытеснение производилось из модели пласта, представляющей, собой карбонатную пористую среду проницаемостью  $1\text{мкм}^2$ . Для оценки эффекта от магнитной обработки раствора ПАВ при вытеснении углеводородных жидкостей каждая серия опытов состояла из двух опытов: первый-вытеснение раствором ПАВ без магнитной обработки; второй-с магнитной обработкой.

Результаты проведенных экспериментов приведены на рис.21, 22, 23, 24. На рисунках: 1-отмечена кривая вытеснения масла Ст-45 раствором ПАВ, не обработанного магнитным полем; 2-обработанное магнитным полем. Кривые имеют не гладкий характер, первый излом соответствует безводному вытеснению, второй – снижению давления в системе ниже давления насыщения, третий – включению магнита. Для кривой 2, когда магнит включен с начала вытеснения, имеются только первые два излома.

Рис. 21 Вытеснение Ст-45 0,01% водным раствором ПАВ при 303° К

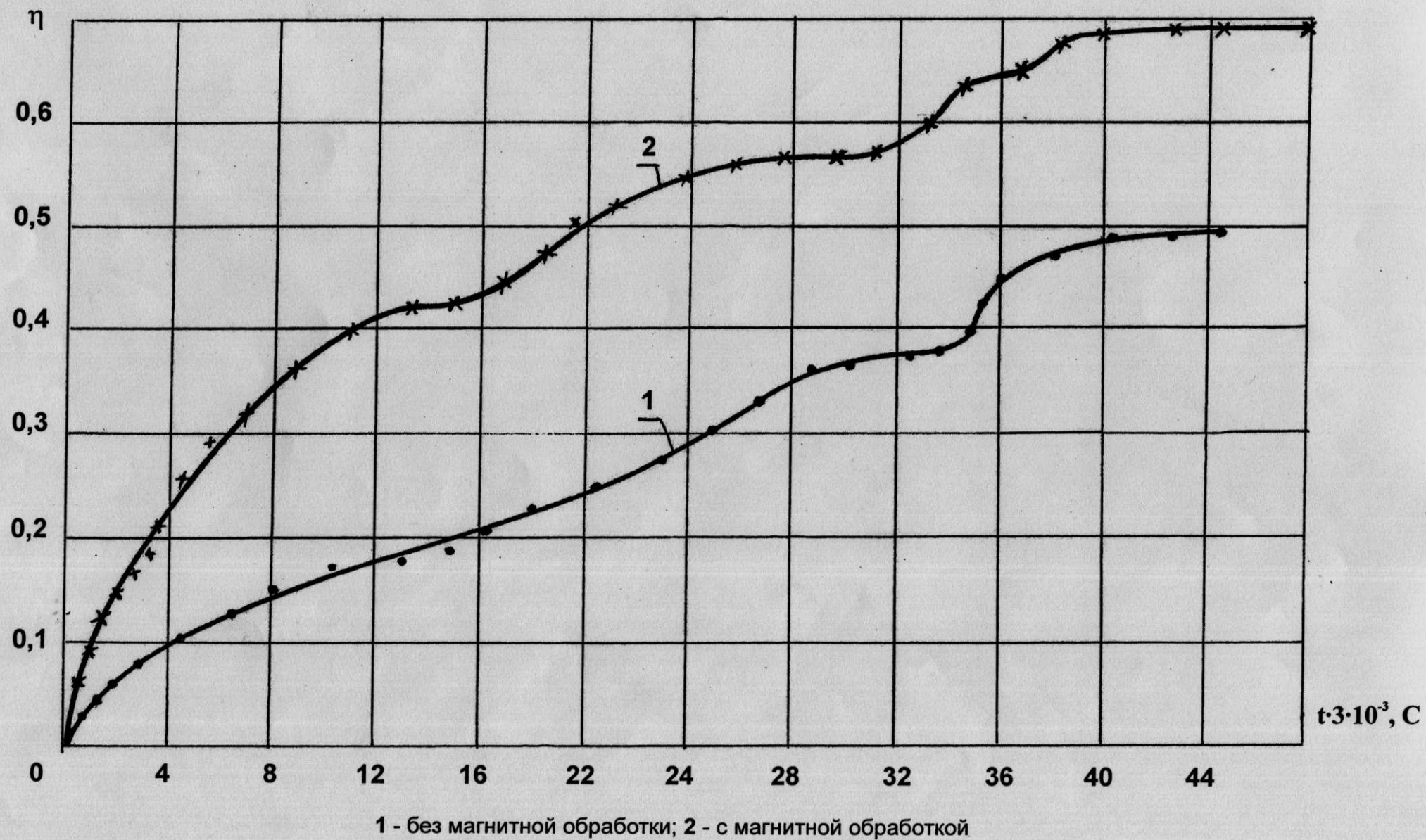
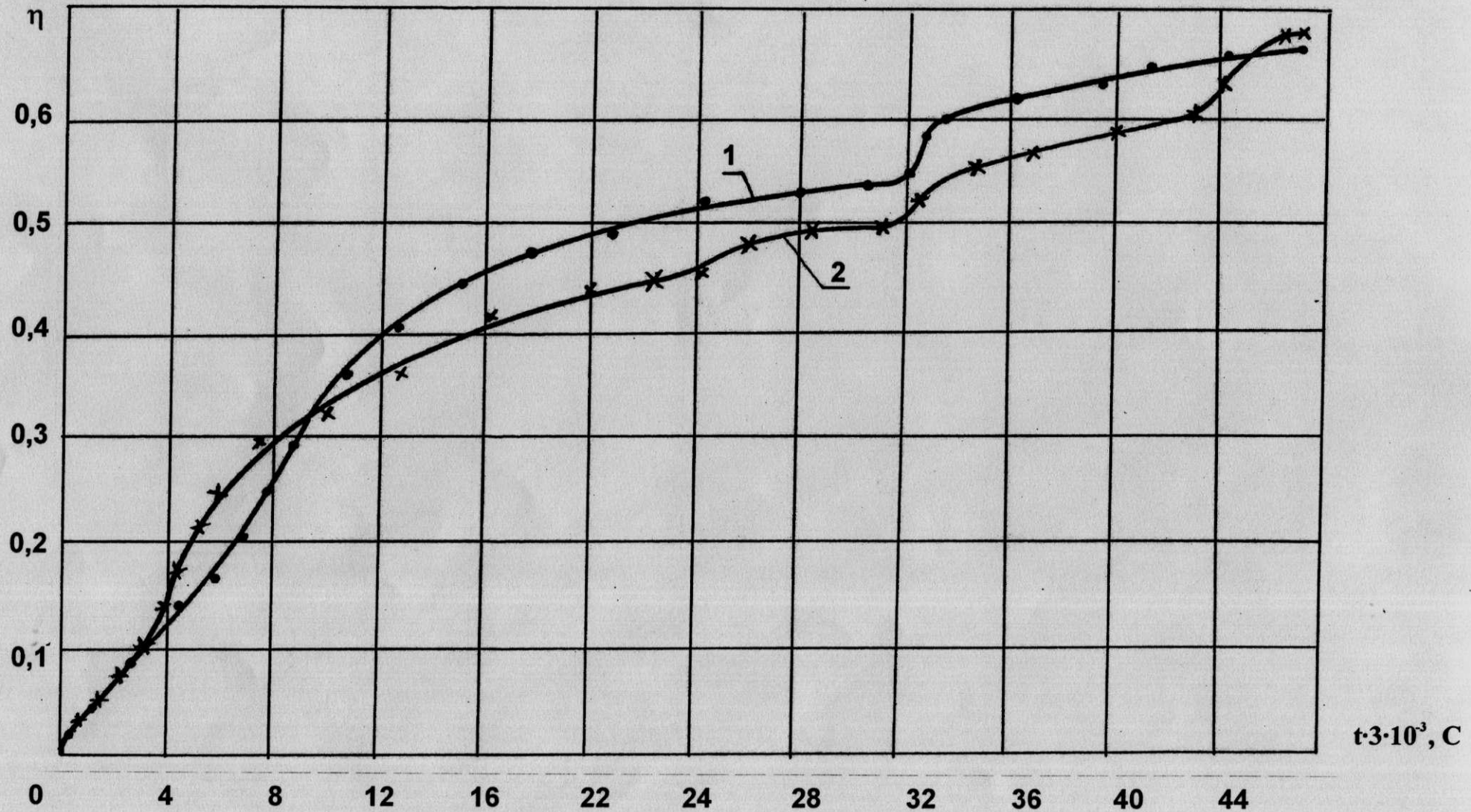




Рис. 22 Вытеснение Ст-45 0,05% водным раствором ПАВ при 303° К



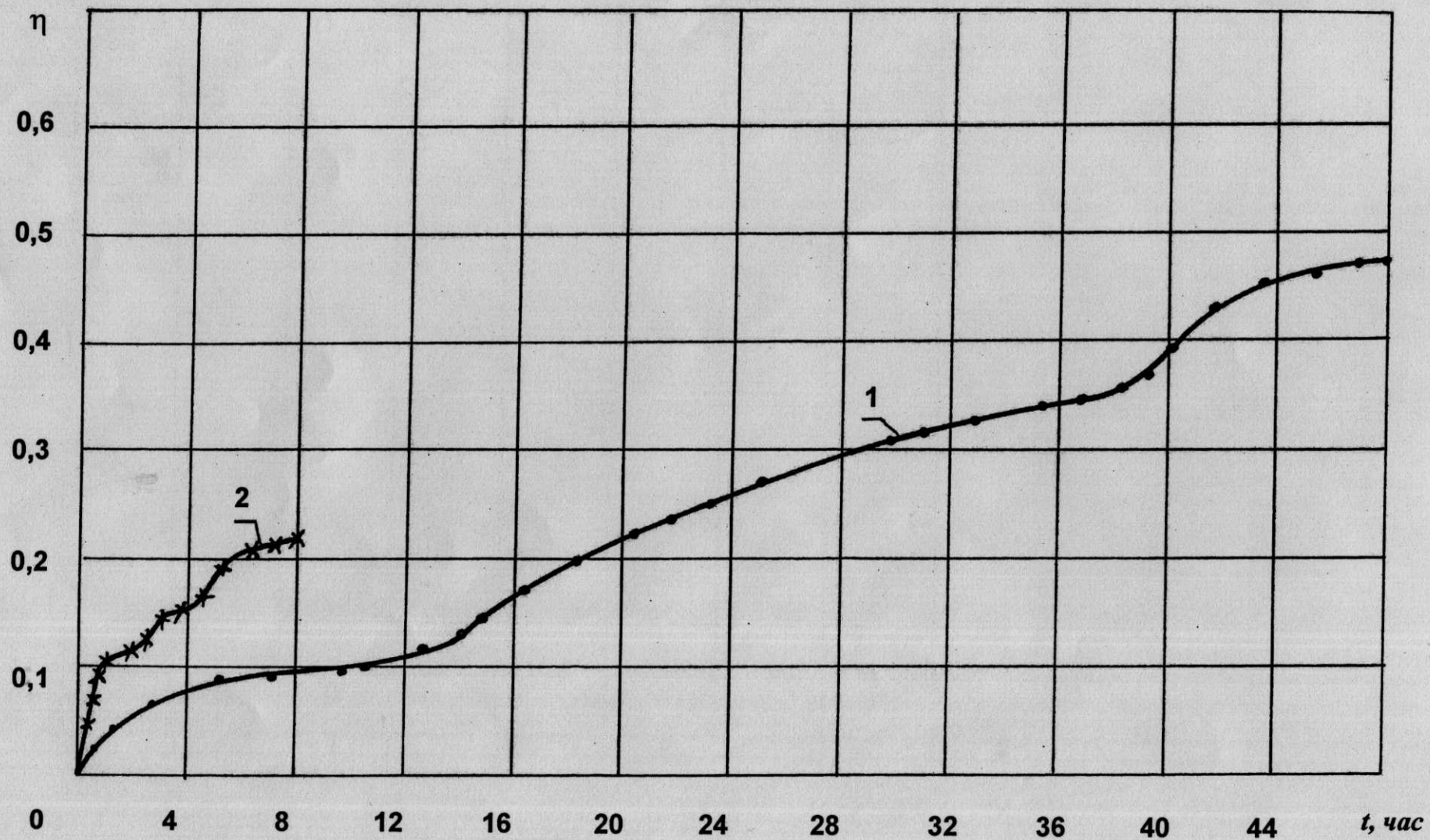
1 - без магнитной обработки; 2 - с магнитной обработкой

При вытеснении магнитообработанным 0,01% раствором тринатрийфосфата в воде наблюдается максимальный прирост коэффициента вытеснения 19% по сравнению с необработанным магнитным полем (рис.21 и 24). В этом случае каждый коэффициент вытеснения для магнитообработанного случая составит 0,68, а для обычного вытеснения - 0,49.

При вытеснении магнитообработанным 0,05% раствором тринатрийфосфата в воде наблюдается увеличение коэффициента вытеснения на 3% (рис.22 и 24). В этом случае (кривая I) после получения конечного коэффициента вытеснения был включен магнит и конечный коэффициент стал равным коэффициенту вытеснения для случая вытеснения магнитообразующего раствора ПАВ и составил 0,684. Отсюда можно заключить, что доотмыв магнитообработанным раствором ПАВ позволит добыть дополнительно оставшиеся в недрах Земли после обычного вытеснения нефти. Характерно, что конечный коэффициент вытеснения для обеих концентраций одинаков - 0,684. Это говорит о том, что в обоих случаях полностью исчерпаны возможности коллектора при извлечении углеводородов водой.

При вытеснении магнитообработанным 0,1% раствором тринатрий-фосфата в воде наблюдается резкое снижение коэффициента вытеснения на 27% (см. рис.23 и 24). Отсюда следует, что это самая неудачная концентрация для вытеснения магнитообработанным раствором ПАВ. Следует заметить, что анализ применения растворов ПАВ при вытеснении нефти на месторождениях страны показал, что в некоторых случаях наблюдалось резкое снижение коэффициента вытеснения. Это можно объяснить тем, что лабораторные исследования проводились

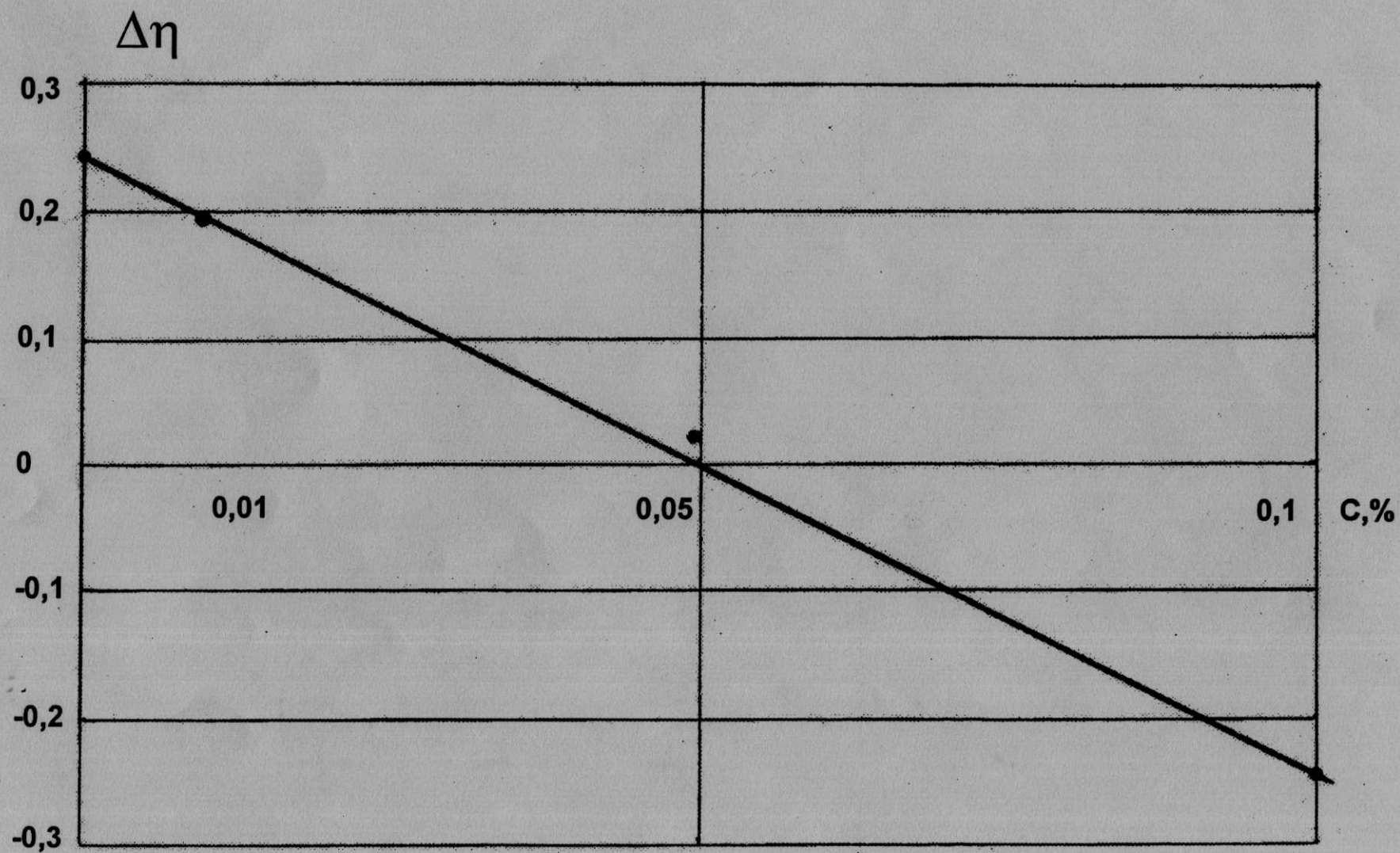
Рис. 23 Вытеснение Ст-45 0,1% водным раствором ПАВ при 303° К



1 - без магнитной обработки; 2 - с магнитной обработкой



Рис. 24 Зависимость коэффициента извлечения СТ-45 от концентрации ПАВ при 303° К



на моделях не учитывающих воздействия физических полей (в нашем случае кривые 1). Анализ их не давал никаких отрицательных прогнозов. При применении растворов ПАВ на месторождениях физические поля оказывают воздействие, в результате чего получался отрицательный эффект от вытеснения растворами ПАВ нефти.

Обобщая вышеизложенное, можно прийти к заключению, что оптимальная концентрация раствора тринатрийфосфата в воде составит 0,01-0,05% при вытеснении высоковязких нефтей из карбонатных коллекторов.

В нефтепромысловой практике указанное может быть применено следующим образом:

1. Зная объем пор, вычисляется необходимое количество тринатрийфосфата (ТНФ), которое следует закачать в пласт, чтобы получить концентрацию раствора тринатрийфосфата в воде 0,01-0,05% (лучше, чтобы был нижний предел).

2. Производится закачка водного раствора тринатрийфосфата омагниченным поперечным постоянным магнитным полем напряженностью 51740А/М. водой.

Другой вариант заключается в создании специального оборудования. Он является самым действенным. Дело в том, что вышеприведенные исследования показали, что есть такие концентрации раствора ТНФ в воде, когда наблюдается снижение коэффициента вытеснения. Избежать этого можно, закачивая в пласт раствор ТНФ определенной концентрации. Этого можно добиться следующим образом:

На приемной линии нагнетательного насоса с помощью специального клапанного устройства, производится дозация ТНФ в поток воды. Дозировку осуществляют в следующей последовательности.

В емкость заправляется необходимое количество ТНФ необходимой концентрации. Производительность насоса и подпор известны, следовательно, в области смешивания известны давление и расход. Сечение клапана, шарик и пружина подбирается таким образом, чтобы при известном давлении в линии приема между емкостью и областью смешивания существовал перепад давления  $P$ , осуществляющий поступление ТНФ в трубопровод строго заданного количества.

Далее полученный раствор необходимой концентрации ТНФ поступает в зазор магнита и после обработки через насос поступает на линию нагнетания в пласт.

### **§ 8 Влияние магнитообработанного раствора кислоты на процесс вытеснения углеводородных жидкостей**

В этом параграфе исследуется возможность повышения эффективности обработки призабойной зоны скважин. С этой целью исследуется влияние магнитной обработки раствора соляной кислоты на коэффициент вытеснения из карбонатной пористой среды.

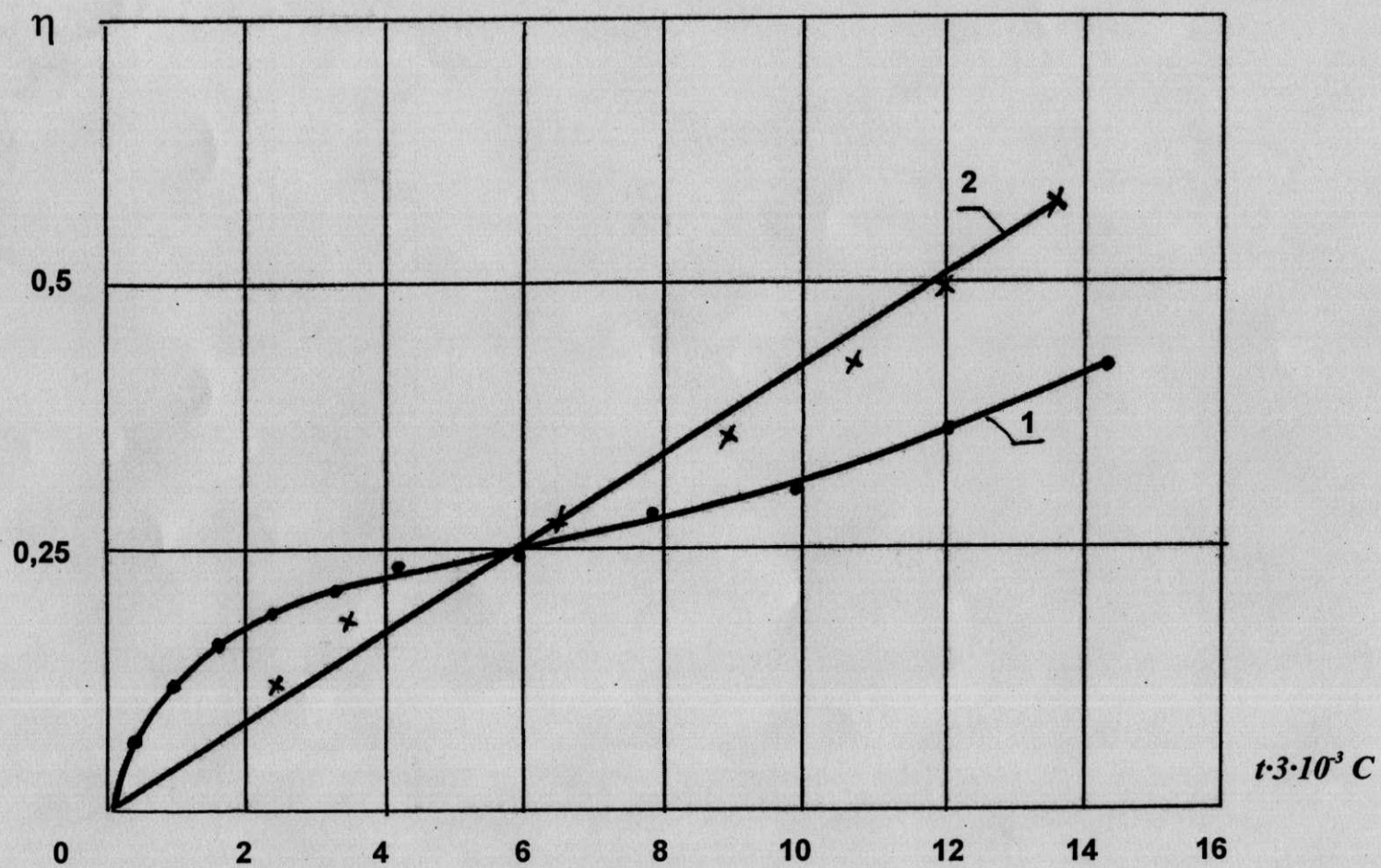
Опыты проводились на установке, приведенной на рис.1, и по той же методике. В этом случае вытесняющим агентом был 3,6% раствор соляной кислоты в воде. Результаты исследования приведены на рис.25 - 28. На рисунках кривая 1 соответствует вытеснению необработанным магнитным полем раствором соляной кислоты, а кривая 2 соответствует процессу вытеснения высоковязкого масла Ст-45 из карбонатной пористой среды 3,6% раствором соляной кислоты, обработанной постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/м.

Из рис.25 видно, что безводный коэффициент вытеснения в первом случае 0,16, а во втором-0,17, а конечный - 0,43 и 0,55 соответственно в первом и во втором случаях.

Отсюда видно, что в результате магнитной обработки раствора кислоты постоянным поперечным магнитным полем безводный коэффициент вытеснения не изменяется, а конечный увеличился на 12%.

С целью объяснения этого эффекта вытеснения были произведены опыты по вытеснению омагниченного и

Рис. 25 Динамика коэффициента извлечения Ст-45 водным 3,6% раствором HCl из карбонатной пористой среды.



1 - без магнитной обработки раствора; 2 - с магнитной обработкой

неомагниченного 3,6% водного раствора соляной кислоты из глинизированной пористой среды.

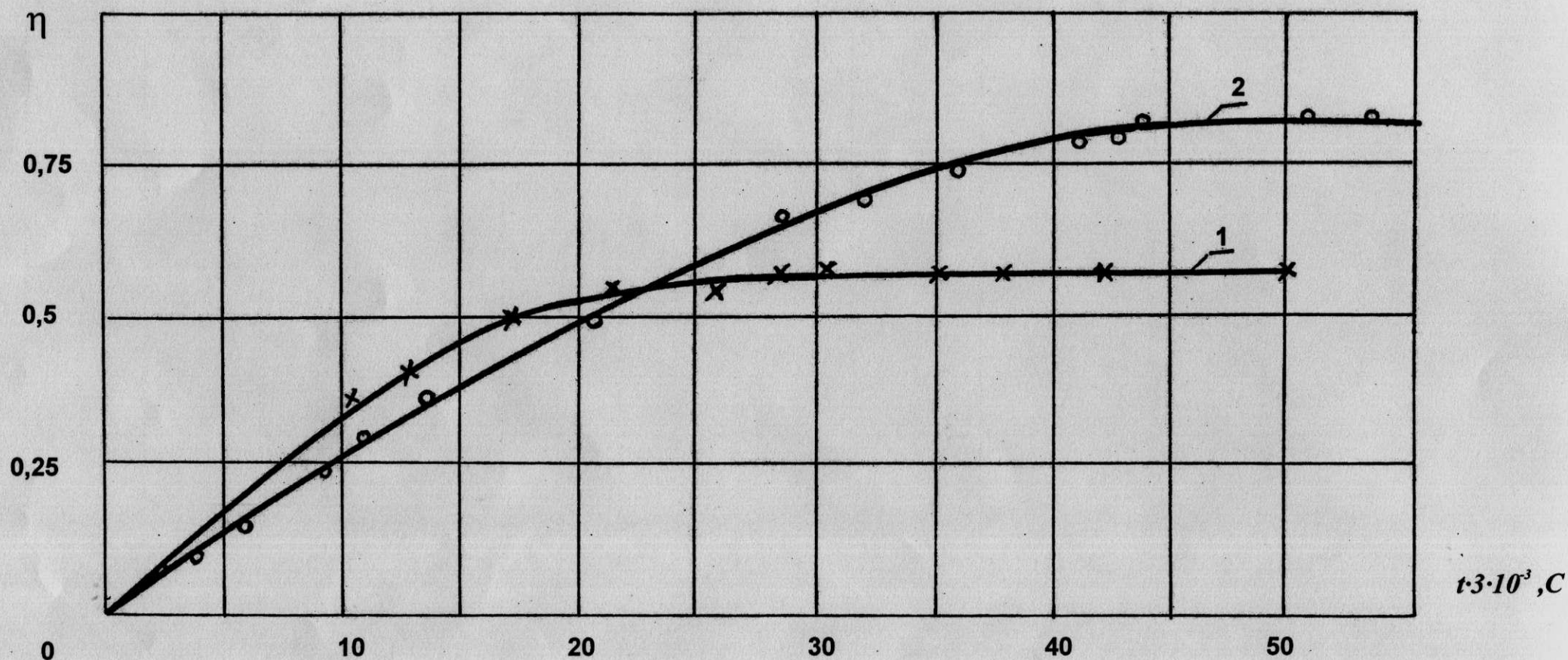
В этой серии опытов физическая модель представляла собой смесь 30% глины и 70% кварцевого песка, которая насыщалась трансформаторным маслом. Результаты этой серии опытов приведены на рис. 26, из которого видно, что коэффициент вытеснения при вытеснении необработанным раствором соляной кислоты составил 0,54 (кривая 1). Доотмыв этой же пористой среды омагниченным раствором соляной кислоты позволил получить еще 6% и коэффициент нефтеизвлечения составил 0,60.

При извлечении трансформаторного масла 3,6% раствором соляной кислоты из глинизированной пористой среды, обработанным поперечным постоянным магнитным полем напряженностью 51740 А/м коэффициент вытеснения составил 0,82. Увеличение коэффициента вытеснения за счет магнитной обработки раствора соляной кислоты составил 28%, по сравнению с вытеснением раствором соляной кислоты, а в случае сравнения с доотмывом путем включения магнита приращение коэффициента вытеснения составило 22%.

Исследуемая пористая среда представляет собой неоднородную систему, поэтому производилось изучение фильтрационных характеристик омагниченного раствора кислоты в неоднородных системах. Неоднородность воспроизводилась в двух колонках различной проницаемостью  $K_1=1= 0,4$  мкм и  $K_2= 0,180$  мкм<sup>2</sup>, подключенных параллельно. На указанных колонках изучались фильтрационные характеристики омагниченного 3,6% раствора соляной кислоты и не обработанного магнитным полем



Рис. 26 Динамика изменения коэффициента извлечения Ст-45 из глинизированной пористой среды 3,6% водным раствором HCl во времени.

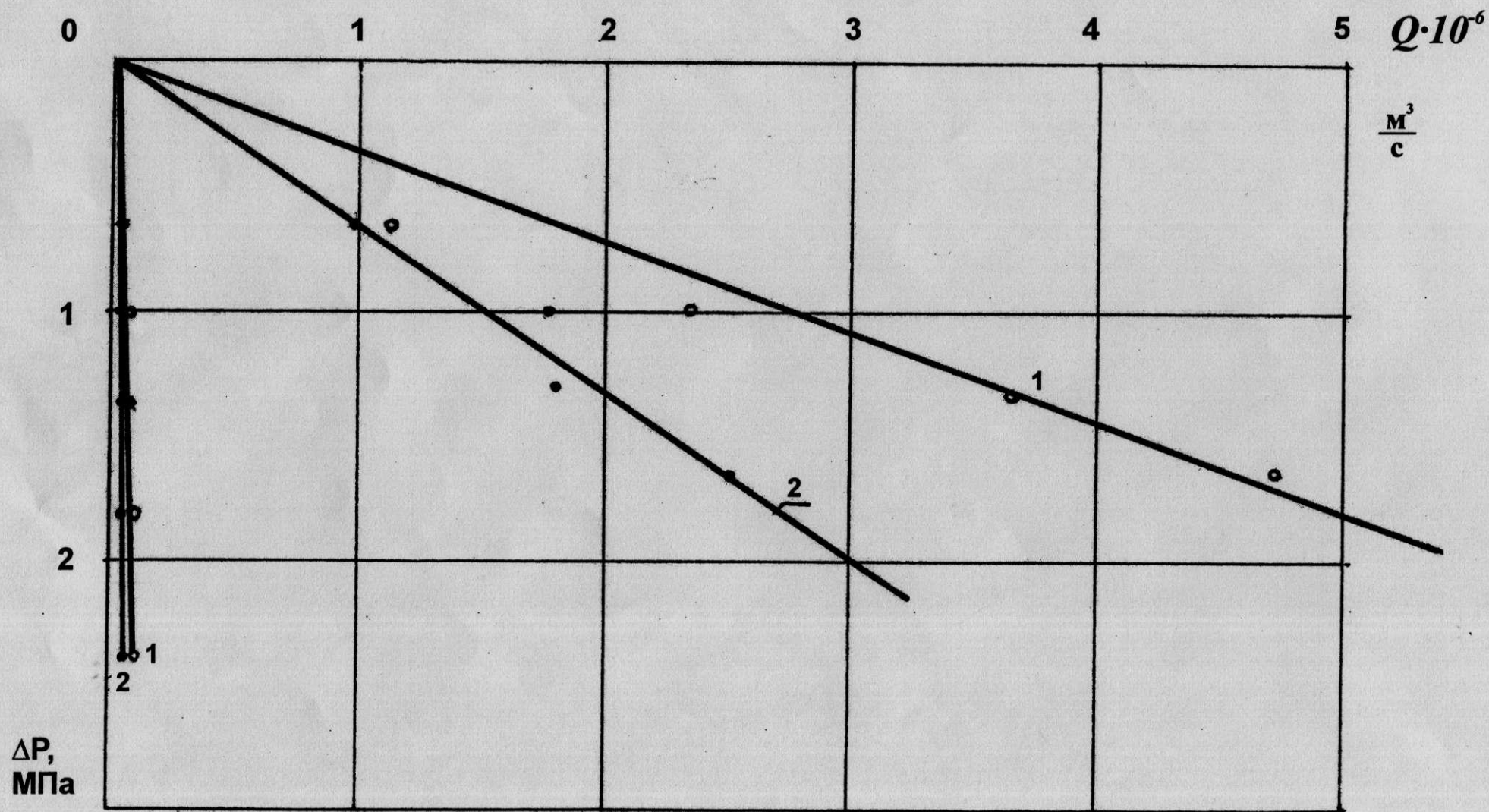


1 - без магнитной обработки раствора; 2 - с магнитной обработкой

раствора соляной кислоты. При этом снимались индикаторные кривые (1 и 2) рис. 27 и кривые восстановления (КВД) рис. 28.

В результате магнитной обработки 3,6% раствором соляной кислоты в воде постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51740 А/м получено, что расход в обеих колонках уменьшился в два раза, а время восстановления давления в высокопроницаемой колонке увеличилось в 4 раза; в малопроницаемой в 2 раза. Отсюда можно сделать заключение, что в неоднородных пористых средах происходит выравнивание фронта вытеснения. Это приводит к увеличению охвата, вследствие чего происходит резкое возрастание коэффициента вытеснения (на 28%). Помимо этого, оценочные расчеты, позволяют утверждать, что снятие железистой пленки с поверхности пористой среды раствором кислоты может привести к увеличению коэффициента вытеснения на 27%. Следовательно, проведение обработки призабойной зоны омагниченным раствором кислоты позволит интенсифицировать процесс добычи в скважинах. Правильность полученных результатов была подтверждена положительными результатами проведения обработки призабойной зоны скважин на месторождениях Азербайджана, Татарии, Западной Сибири.

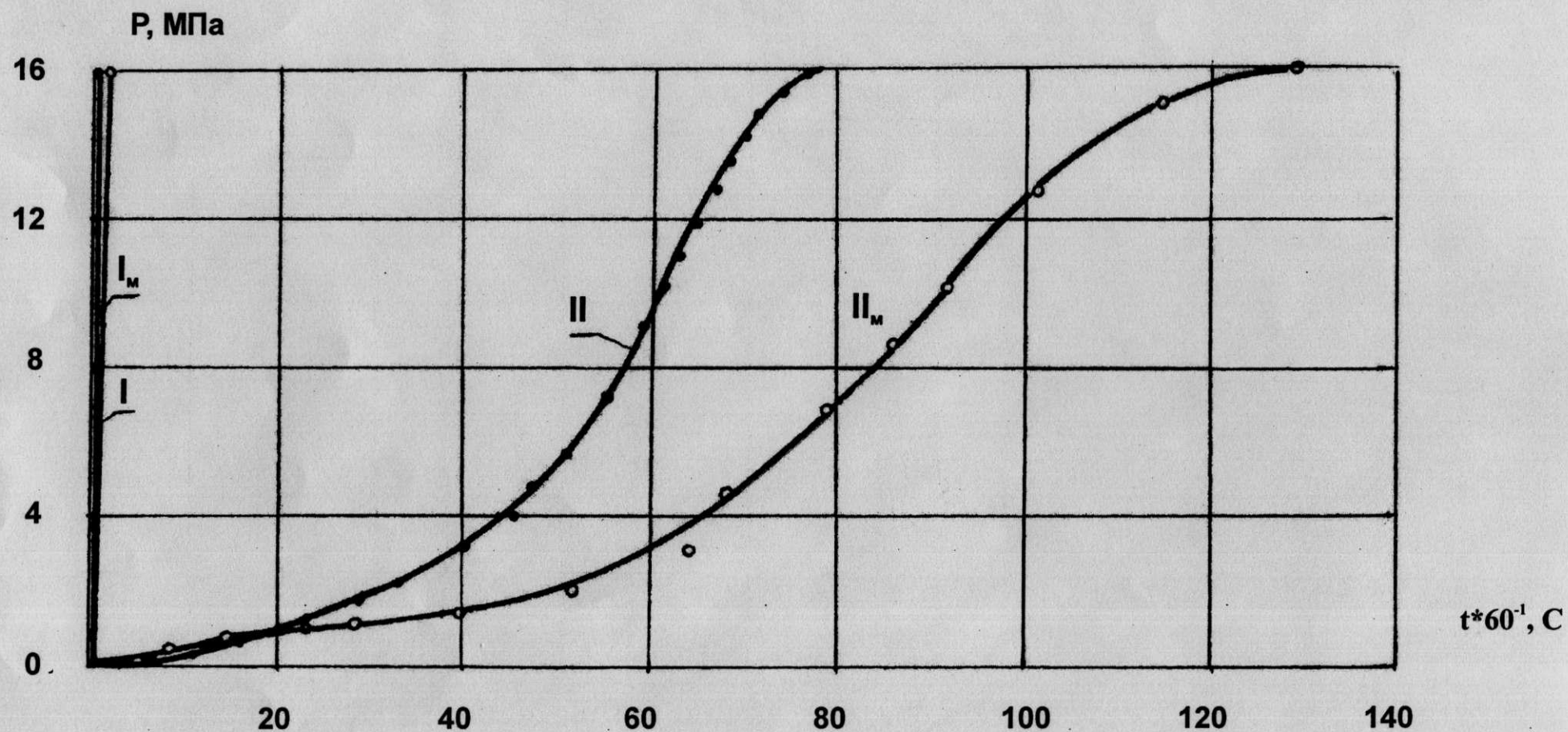
Рис. 27 Индикаторные диаграммы при фильтрации трансформаторного масла в неоднородном пласте



1 - без магнитной обработки; 2 - с магнитной обработкой



Рис. 28 Кривые восстановления давления в моделях неоднородного пласта



I-II - без магнитной обработки в высокопроницаемом и низкопроницаемом коллекторах  
 $I_M II_M$  - без магнитной обработки в высокопроницаемом и низкопроницаемом коллекторах

### **§ 9. Промысловые исследования увеличения приемистости нагнетательных скважин**

На основе результатов лабораторных исследований была показана возможность применения магнитной обработки воды для интенсификации процесса добычи нефти из пластов.

Было получено, что максимальный эффект при обработке воды магнитным полем наблюдается при вытеснении нефти из глинизированных пористых сред постоянным поперечным полем. Исходя из этого, нами решено было внедрить магнитные устройства на таких месторождениях, коллекторы которых содержат глины. Одним из таких месторождений является Ромашкинское, малопроницаемые пласты-коллекторы (алевролиты) которого содержат значительное количество глинистой фракции. При эксплуатации месторождений трудноразрешимой проблемой является то, что слабопроницаемые пласты плохо или вообще не принимают воду, так как глина набухает от контакта с водой, вследствие чего происходит вынужденная консервация пластов. Отсюда видна необходимость вовлечения в разработку глинизированных пластов, особенно сейчас, когда их доля в общем балансе запасов нефти страны из года в год растет.

В этой части работы приводятся результаты промысловых исследований внедрения магнитной обработки воды при закачке ее в пласты. Первые работы в этом направлении проводились в Азербайджане и Татарии, поэтому иллюстрация осуществляется результатами внедрения на промыслах НГДУ "Иркеннефть", Сулеевнефть", "Наримановнефть", "Нурлатнефть".

Бывший в период проведения исследований генеральный директор ПО "Татнефть" Р.Т.Булгаков, главный геолог ПО "Татнефть" Муслимов Р.Х, главный геолог НГДУ "Сулеевнефть" Ахметов З.М.» главный геолог НГДУ "Иркеннефть" Ахметсафин К.Ш., заместитель начальника ПТО НГДУ "Нариманов-нефть" Стариков Б.А. Помарин А.Т., главный геолог НГДУ "Нурлатнефть" оказали помощь при проведении промысловых исследований, за что авторы выражают свою благодарность.



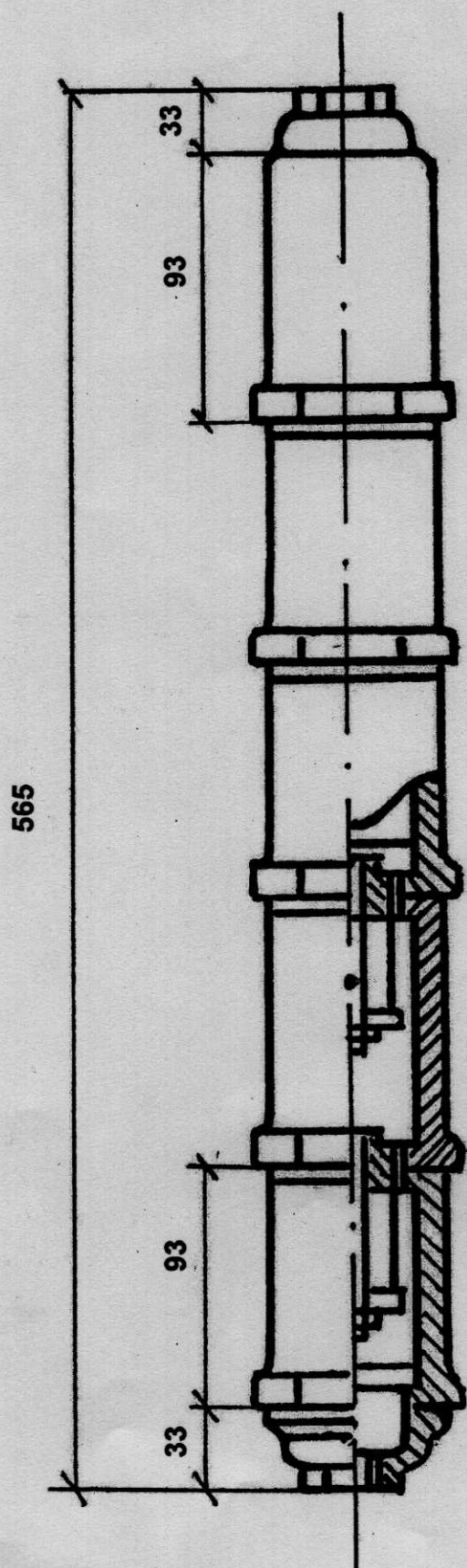
### *§ 9.1 Создание конструкции магнитных устройств для обработки водных систем магнитным полем*

В /9/ сделана попытка создания устройств для магнитной обработки воды, хотя установка создана в металле и принята комиссией, она имеет ряд существенных недостатков. Установка представляет собой электромагнит и работает на постоянном токе, который на промыслах не всегда есть. Электромагнит требует ухода и обслуживание за установкой в районах Севера и Тюменской области, что не всегда возможно, и это снижает надежность магнитной обработки воды. Дополнительным условием, ограничивающим применимость указанной установки, является обмотка электрокатушки. Дело в том, что надежно изолировать обмотку от обрабатываемой агрессивной среды (воды) на современном этапе не представляется возможным. Это будет способствовать частому выходу из строя установки.

Указанными недостатками не обладает установка, состоящая из постоянных магнитов, созданная на кафедре "Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений" АЗИНЕФТЕХИМ ям. М. Азизбекова.

На первом этапе для обработки воды магнитным полем при закачке ее в пласт применялась опытная установка, приведенная на рис.29. Устройство магнитной обработки воды (УМОВ) состоит из однотипных секций-элементов, соединенных последовательно. Типовой элемент состоит из чугунного стакана-магнитопровода (5), цилиндрического постоянного магнита (6) с полюсным наконечником (7), укрепленным болтом (2) и гайкой (8) на дне стакана. Магнит изготовлен из специального магнитного сплава

Рис.29 Схема устройства магнитной обработки воды (УМОВ).



ЮНДК-24, полюсный наконечник из малоуглеродистой стали. Кольцевой воздушный зазор между полюсным наконечником и стаканом равен 2,5 мм, а между магнитом и стаканом-15 мм. Поступающая в стакан вода проходит через эти зазоры, пересекает магнитные поля и подвергается магнитной обработке. Через отверстие (3) в дне стакана вода поступает в следующую секцию. Последовательное пересечение водой магнитных полей определенного количества секций обеспечивает ей необходимую кратность магнитной обработки. Для крепления секций между собой на стыках имеется Внутренняя и наружная резьба, а также наружный шестигранный венец (11) для сборки под ключ. Верхняя и нижняя секции закрываются сферическими чугунными крышками (1) и (10). Секция и крышки уплотняются прокладками из паранита (4). Для отделения окалины, металлической пыли и других находящихся в воде ферромагнитных частиц, первая от ввода секция, крышка которой имеет маркировку "С", снабжена специальным полюсным наконечником(9), образующим увеличенный рабочий магнитный зазор -5мм. Монтаж УМОВ производится в отрезке трубы 100 мм, соединяющую через фланцевые соединения арматуру с подводящим трубопроводом.

Подобные промышленные эксперименты в промысловой практике производятся впервые, поэтому и отсутствовала специально разработанная установка для закачки магнитообработанной воды в пласт. На первом этапе применялась существующая промышленная установка (ПМУ) противонакипное магнитное устройство), которое по две или три штуки параллельно подключались в виде батареи на приеме нагнетательных скважин. Количество ПМУ выбиралось в зависимости от производительности

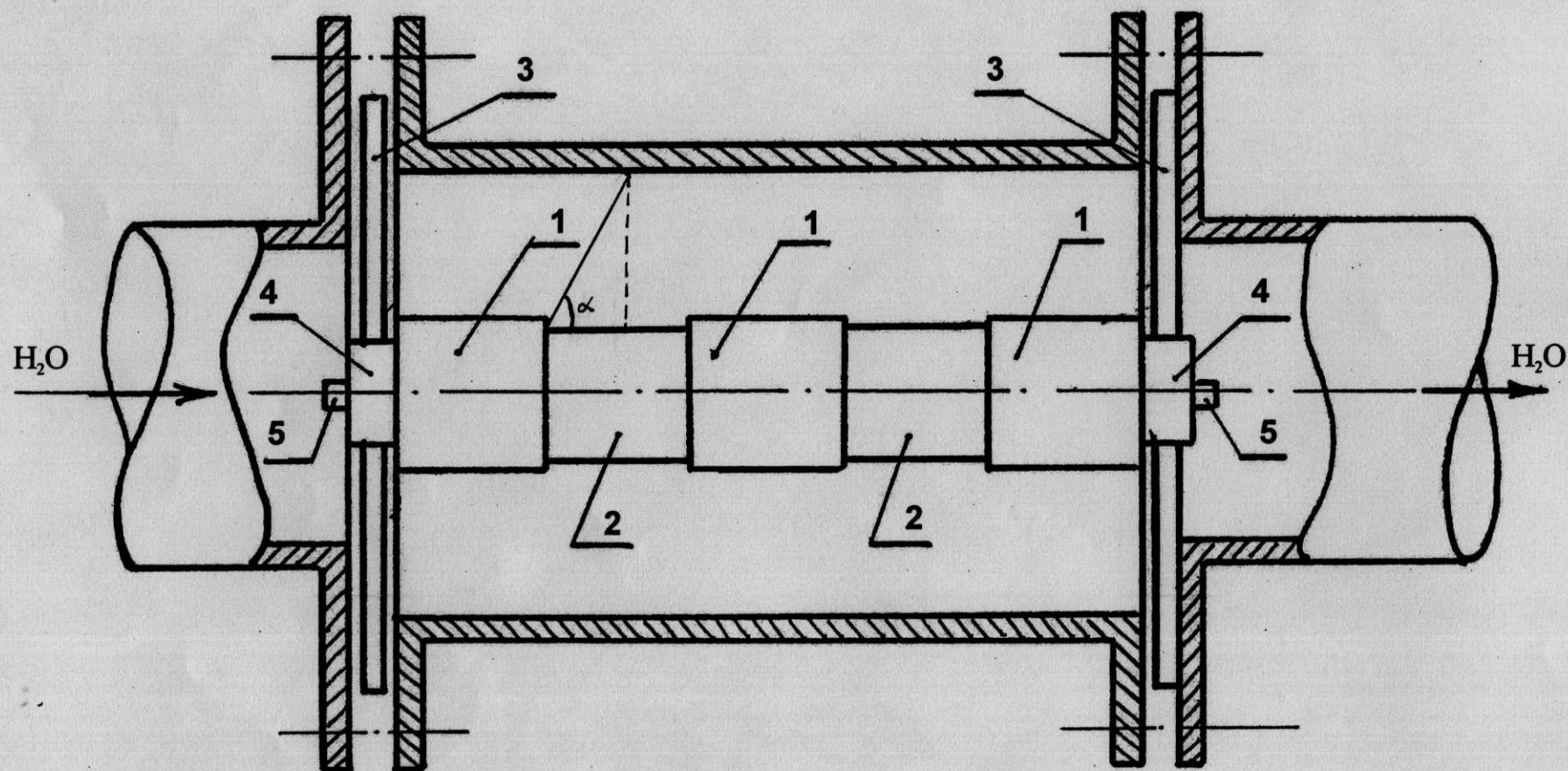
нагнетательных скважин. Пропускная способность одного ПМУ составляет около  $50 \text{ м}^3$  воды в сутки. Такое подключение, конечно, имеет ряд недостатков, но оно оправдано на первых этапах. Необходимо было иметь первые результаты закачки магнитной обработки воды, оценка которых позволит наметить дальнейшие пути как в области закачки омагниченной воды в пласт, так и в области создания модернизированных устройств по магнитной обработке воды для закачки ее в пласт. Анализ первых прошлых результатов закачки омагниченной воды в пласт показал необходимость создания новых более совершенных устройств для магнитной обработки воды на высокую производительность.

Такая установка была создана и внедрена на 468 скважинах объединения "Татнефть".

Установка, схема которой приведена на рис. 26, состоит из 3-х магнитов напряженностью в 47700 А/м. Эти магниты соосно одеваются на шток (5), который выполняется из немагнитного материала. Магниты устанавливаются на расстоянии  $L$  друг от друга таким образом, чтобы угол  $\alpha$  при основании треугольника, образованного осью установки и стороной, соединяющей середину торца магнита с точкой на трубе, отстоящей от торца магнита на расстоянии  $\frac{\alpha}{2}$  равнялся бы  $60-60^\circ$ . На рис. 30 этот угол показан пунктиром.

Магниты 1 на штоке (5) крепятся с помощью гаек (4), на который одеваются немагнитные стержни-центраторы (3). Центраторы на гайке крепятся под углом  $120^\circ$  друг к другу. Между магнитами устанавливаются втулки (2), которые выдерживают размер  $L$ , они также изготавливаются из немагнитного материала.

Рис.30 Схема устройства для обработки воды поперечным магнитным полем



1 - постоянные магниты; 2 - втулки; 3 - центраторы; 4 - гайки; 5 - стержни

Здесь следует отметить, что при установке магнитов, как указано на рисунке, необходимо, чтобы элементы и узлы установки, соприкасающиеся с магнитом и насосно-компрессорными трубами были бы выполнены из немагнитного материала. Нами использовалась нержавеющая сталь, можно также пользоваться сплавами меди, различными полимерными и органическими материалами и т.д.

При установке магнитов с целью фиксации магнитного потока, а следовательно, более эффективной обработки движущего потока необходимо указанные три магнита устанавливать на расстоянии, равном  $L$ . Насосно-компрессорные трубы выбираются таким образом, чтобы после установки магнитов эффективное сечение трубы не изменялось. Нами в месте установки магнитов применялся 6" кусок трубы, в то время как на линии водопровода были 4" трубы при диаметре магнитов 35 мм.

Магнитное устройство можно устанавливать на устье нагнетательных скважин, но лучше всего установить на приёме нагнетательного насоса кустовой станции. При установлении магнитного устройства на приёме нагнетательного насоса количество магнитов лучше довести до 5 и более штук.



### *§ 9.2 Методика применения метода малой выборки для исследования результатов промысловых данных*

Известно, что точность и достоверность результатов вероятностно-статистических методов существенно зависят от размеров обрабатываемых выборок. Чем больше количество наблюдений участвует в вычислениях, тем качественней получаемый результат. Применяя вероятностно-статистические методы к выборкам малых объемов, можно получить искаженные и даже неверные результаты. Малые выборки имеют место при оценках эффективности каких-либо мероприятий в период промышленных испытаний и при исследовании месторождений, находящихся в начальной стадии разработки.

Используя метод малой выборки [17], оценим эффективность от закачки омагниченной воды. Расчет производится по вышеприведенной методике по скважине 7227. НГДУ «Сулеевнефть». До установки магнитного устройства на нагнетательной скважине приемистость ее составляла: 58, 56, 54, 57, 53, 58, 57, 55 в среднем 56 м<sup>3</sup>/сут, а после установки магнита: 68, 67, 71, 56, 50, 53, 50, 53, 134, 148 в среднем 71,5 м<sup>3</sup>/сут.

1. Предполагается, что дебит нефти за исследуемый период подчиняется нормальному закону распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - m_k)^2}{\sigma_k^2}}$$

$$\frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_k)^2}{2\sigma_k^2}}$$

Определяется интервал изменения исходной величины

$$a_1=52; b_1=59; a_2=50; b_2=150$$

Число наблюдений  $N=10$  по кривым /18/ определяются значения  $\rho' = \rho'_m = 0.36$   $\alpha_s = \alpha_{s_m} = 0$

Вычисляются оптимальные значения  $\rho$  в единицах длины интервала  $[a, b]$ :

$$\rho_{m_1} = 0.36 \cdot 7 = 2,52 - \text{до установки магнита}$$

$$\rho_{m_2} = \rho'_m(b-a) = 0,36 \cdot 100 = 36 - \text{после установки магнита}$$

Устанавливаем длину интервала  $l_x = 150$  мм и ординату априорной компоненты  $l_f = 50$  мм.

Вычисляются масштабные множители:

$$l_{x_1} = \frac{59}{7} = 8,4 \text{ и } l_{f_1} = 50 \cdot 7 = 350 \text{ до установки УМОВ.}$$

$$l_{x_2} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ и } l_{f_2} = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ после установки УМОВ.}$$

Заполняется таблица 1 с использованием формулы

$$\lambda_1(x'_j) = \frac{4,5}{2,52} (x'_j - 53)^2 = 1,786 (x'_j - 53)^2 \text{ и т.д.}$$

Вычисляется не коррективная амплитуда ядра по формуле

$$C_i = \frac{3}{\sqrt{2\pi}2,52} 350 = 166,266$$

Приняв  $\eta = 20$ , вычисляется интервал дискретности по формуле

$$\Delta X = \frac{7}{20} = 0,35 \text{ до установки УМОВ}$$

$$\Delta X = \frac{100}{20} = 5 \text{ после установки УМОВ}$$

Вычисляются оценки функции распределения и ее плотности, заполнив при этом таблицу 2. Вычисляется значение  $f'_N(X'_j)$  следующим образом. Для  $P_{ij}$  до установки УМОВ знак (+) имеют значения 1 и 2 столбца, следовательно, значение 1 строки  $f'_N(X'_j)$  вычисляются

$$\begin{aligned} f'_N(X'_j) &\cong \\ &= \frac{166,226 \cdot e^{-1,786(52,175-53)^2} + 166,226 \cdot e^{-1,786(52,525-54)^2}}{10} = 4,9725 \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Таблица 1

Вычисление параметров дельтообразной функции

| № п/п                                    | $X_i$ | $X_i - \rho_m$ | $X_i + \rho_m$ | $\lambda_i(x'_j)$ |
|--|-------|----------------|----------------|-------------------|
| До установления магнитного устройства    |       |                |                |                   |
| 1  | 53    | 52             | 55,5           | $1,786(x_j-53)^2$ |
| 2  | 54    | 52             | 56,5           | $1,786(x_j-54)^2$ |
| 3  | 55    | 52,5           | 57,5           | $1,786(x_j-55)^2$ |
| 4  | 56    | 53,5           | 58,5           | $1,786(x_j-56)^2$ |
| 5  | 56    | 53,5           | 58,5           | $1,786(x_j-56)^2$ |
| 6  | 56    | 53,5           | 58,5           | $1,786(x_j-56)^2$ |
| 7  | 57    | 54,5           | 59             | $1,786(x_j-57)^2$ |
| 8  | 57    | 54,5           | 59             | $1,786(x_j-57)^2$ |
| 9  | 58    | 55,5           | 59             | $1,786(x_j-59)^2$ |
| 10                                       | 58    | 55,5           | 58             | $1,786(x_j-59)^2$ |
| После установления магнитного устройства |       |                |                |                   |
| 1  | 50    | 50             | 86             | $0,125(x_j-50)^2$ |
| 2  | 50    | 50             | 86             | $0,125(x_j-50)^2$ |

|    |     |     |     |                   |
|----|-----|-----|-----|-------------------|
| 3  | 53  | 50  | 89  | $0,125(x_j-53)^2$ |
| 4  | 53  | 50  | 89  | $0,125(x_j-53)^2$ |
| 5  | 56  | 50  | 92  | $0,125(x_j-56)^2$ |
| 6  | 67  | 50  | 103 | $0,125(x_j-67)^2$ |
| 7  | 68  | 50  | 104 | $0,125(x_j-68)^2$ |
| 8  | 71  | 50  | 107 | $0,125(x_j-71)^2$ |
| 9  | 134 | 98  | 150 | $0,125(x_j-$      |
| 10 | 148 | 112 | 150 | $134)^2$          |
|    |     |     |     | $0,125(x_j-$      |
|    |     |     |     | $148)^2$          |





Продолжение таблицы 2

| $j$ | $F^*(x_j)$ | $F_1^*(x_{j-1})$ | $f^n(x_j)$ | $f^n(x_j)$ | $F_b(x_j)$ | $F_H(x_j)$ |
|-----|------------|------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1   | 0,008      | 0                | 0,023      | 8          | 0,288      | 0          |
| 2   | 0,029      | 0,008            | 0,06       | 21         | 0,309      | 0          |
| 3   | 0,61       | 0,029            | 0,091      | 32         | 0,341      | 0          |
| 4   | 0,098      | 0,61             | 0,106      | 37         | 0,278      | 0          |
| 5   | 0,136      | 0,098            | 0,109      | 38         | 0,416      | 0          |
| 6   | 0,175      | 0,136            | 0,111      | 39         | 0,455      | 0          |
| 7   | 0,215      | 0,175            | 0,114      | 40         | 0,496      | 0          |
| 8   | 0,255      | 0,215            | 0,114      | 40         | 0,535      | 0          |
| 9   | 0,304      | 0,255            | 0,14       | 49         | 0,584      | 0,024      |
| 10  | 0,369      | 0,304            | 0,186      | 65         | 0,649      | 0,089      |
| 11  | 0,458      | 0,369            | 0,254      | 89         | 0,738      | 0,178      |
| 12  | 0,561      | 0,458            | 0,294      | 103        | 0,841      | 0,281      |
| 13  | 0,660      | 0,561            | 0,283      | 99         | 0,94       | 0,380      |
| 14  | 0,746      | 0,660            | 0,246      | 86         | 1          | 0,466      |
| 15  | 0,816      | 0,746            | 0,2        | 70         | 1          | 0,536      |
| 16  | 0,861      | 0,816            | 0,129      | 45         | 1          | 0,581      |
| 17  | 0,886      | 0,861            | 0,071      | 25         | 1          | 0,606      |
| 18  | 0,907      | 0,886            | 0,06       | 21         | 1          | 0,627      |
| 19  | 0,944      | 0,907            | 0,106      | 37         | 1          | 0,684      |
| 20  | 1          | 0,944            | 0,16       | 56         | 1          | 0,72       |

11. Доверительные границы оценки функции распределения определяются путем задания достоверности  $\beta$

В рассматриваемом примере  $\beta$  приняли 0,95. Из таблицы 1 приложения /18/ для  $\eta=10$  и  $\beta=0,95$  значение  $D_N(\beta)=0,28$ . Используя формулу получают нижние и верхние границы функции распределения.

12. С использованием нужных формул заполняется таблица 3 и определяется математическое ожидание. В рассматриваемом случае до установления УМОВ  $m_1^*=55,858$ , а после  $m_2^*=77,503$

13. С использованием формулы составляется таблица 4 и вычисляется точечная оценка дисперсии. В рассматриваемом примере до установления УМОВ  $\sigma_1^*=2817,598$  а после  $\sigma_2^*=5205$

14. Вычисляется критерий Стьюдента для степени свободы  $\nu$

$$\nu = \eta_1 + \eta_2 - 2 = 18$$

$$t = \frac{55,858 - 77,503}{\sqrt{\frac{2817,598^2}{10} + \frac{5205,433^2}{10}}} = 0,01$$

Табличное значение определяется из таблицы 2 приложения /3/

Отсюда видно, что по критерию Стьюдента математические ожидания равны:

$$t_{\text{расч}} < t_{\text{табл}}$$

15. Вычисляется критерий Фишера для степеней свободы

## Вычисление матожидания до установления магнита

| J  | $X_j$  | $F^*(X_j)$ | $F^*(X_{j-1})$ | $P_j^*$ | $X_j P_j^*$ |
|----|--------|------------|----------------|---------|-------------|
| 1  | 52,275 | 0,008      | 0              | 0,008   | 0,4174      |
| 2  | 52,526 | 0,029      | 0,008          | 0,051   | 1,103       |
| 3  | 52,875 | 0,061      | 0,029          | 0,032   | 1,692       |
| 4  | 53,225 | 0,098      | 0,061          | 0,037   | 1,969       |
| 5  | 53,575 | 0,136      | 0,096          | 0,038   | 2,036       |
| 6  | 53,925 | 0,175      | 0,136          | 0,039   | 2,103       |
| 7  | 54,275 | 0,215      | 0,175          | 0,04    | 2,171       |
| 8  | 54,526 | 0,255      | 0,215          | 0,04    | 2,185       |
| 9  | 54,975 | 0,304      | 0,255          | 0,049   | 2,694       |
| 10 | 55,325 | 0,369      | 0,304          | 0,065   | 3,596       |
| 11 | 55,675 | 0,458      | 0,369          | 0,089   | 4,955       |
| 12 | 56,025 | 0,561      | 0,458          | 0,103   | 5,770       |
| 13 | 56,375 | 0,660      | 0,561          | 0,099   | 5,581       |
| 14 | 56,725 | 0,746      | 0,660          | 0,086   | 4,878       |
| 15 | 57,075 | 0,816      | 0,746          | 0,07    | 3,995       |
| 16 | 57,425 | 0,861      | 0,816          | 0,045   | 2,584       |
| 17 | 57,775 | 0,886      | 0,861          | 0,025   | 1,444       |
| 18 | 58,125 | 0,907      | 0,886          | 0,021   | 1,221       |
| 19 | 58,475 | 0,944      | 0,907          | 0,037   | 2,163       |
| 20 | 58,825 | 1          | 0,944          | 0,056   | 3,294       |

$$m_1^* = 55,858$$

## Вычисление матожидания после установления магнита

| $j$ | $X_j$ | $F^*(X_j)$ | $F^*(X_{j-1})$ | $P_j^*$ | $X_j P_j^*$ |
|-----|-------|------------|----------------|---------|-------------|
| 1   | 52,5  | 0,341      | 0              | 0,341   | 17,903      |
| 2   | 57,2  | 0,443      | 0,341          | 0,102   | 5,865       |
| 3   | 62,5  | 0,454      | 0,443          | 0,011   | 0,688       |
| 4   | 67,5  | 0,690      | 0,454          | 0,236   | 15,93       |
| 5   | 72,5  | 0,784      | 0,690          | 0,094   | 6,815       |
| 6   | 77,5  | 0,785      | 0,784          | 0,001   | 0,0774      |
| 7   | 82,5  | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 8   | 87,5  | 0,785      | 0,785          | 0,785   | 0           |
| 9   | 92,65 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 10  | 97,5  | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 11  | 102,5 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 12  | 107,5 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 13  | 112,5 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 14  | 117,5 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 15  | 122,5 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 16  | 127,5 | 0,785      | 0,785          | 0       | 0           |
| 17  | 132,5 | 0,868      | 0,785          | 0,083   | 10,998      |
| 18  | 137,5 | 0,891      | 0,868          | 0,023   | 3,163       |
| 19  | 142,5 | 0,894      | 0,891          | 0,003   | 0,428       |
| 20  | 147,5 | 1          | 0,894          | 0,106   | 15,635      |

$$m_1^* = 77,503$$

## Вычисление дисперсии до установления магнита.

| $J$ | $x_j$  | $P_j^*$ | $m_j^*$ | $x_j - m_j^*$ | $(x_j - m_j^*)^2$ | $(x_j - m_j^*)P_j^*$ |
|-----|--------|---------|---------|---------------|-------------------|----------------------|
| 1   | 52,175 | 0,008   | 0,4174  | 51,758        | 2678,891          | 21,431               |
| 2   | 52,525 | 0,051   | 1,103   | 51,432        | 2644,222          | 134,855              |
| 3   | 52,875 | 0,032   | 1,629   | 51,183        | 2619,700          | 83,83                |
| 4   | 53,225 | 0,037   | 1,969   | 51,256        | 2656,177          | 97,20                |
| 5   | 53,575 | 0,038   | 2,036   | 51,539        | 2656,270          | 100,94               |
| 6   | 53,925 | 0,039   | 2,103   | 51,822        | 2685,520          | 104,74               |
| 7   | 54,275 | 0,040   | 2,171   | 52,104        | 2714,830          | 104,60               |
| 8   | 54,625 | 0,040   | 2,185   | 52,440        | 2749,950          | 110,00               |
| 9   | 54,975 | 0,049   | 2,694   | 52,281        | 2733,300          | 133,93               |
| 10  | 55,325 | 0,065   | 3,596   | 51,729        | 2675,900          | 173,90               |
| 11  | 55,675 | 0,089   | 4,955   | 50,720        | 2572,520          | 228,95               |
| 12  | 56,025 | 0,103   | 5,770   | 50,250        | 2525,600          | 260,13               |
| 13  | 56,375 | 0,099   | 5,581   | 50,794        | 2580,000          | 258,00               |
| 14  | 56,725 | 0,086   | 4,878   | 51,847        | 2688,111          | 231,178              |
| 15  | 57,075 | 0,070   | 3,995   | 53,080        | 2817,486          | 197,224              |
| 16  | 57,425 | 0,045   | 2,584   | 54,841        | 3007,535          | 135,339              |
| 17  | 57,775 | 0,025   | 1,444   | 56,331        | 3173,182          | 79,333               |
| 18  | 58,125 | 0,021   | 1,221   | 56,905        | 3238,179          | 68,002               |
| 19  | 58,475 | 0,037   | 2,163   | 56,312        | 3171,041          | 117,329              |
| 20  | 58,825 | 0,056   | 3,249   | 55,531        | 3083,629          | 172,687              |

$$\sigma_1^* = 2817,598$$

## Вычисление дисперсии после установления магнита.

| $J$ | $x_j$ | $P_j^*$ | $m_j^*$ | $x_j - m_j^*$ | $(x_j - m_j^*)^2$ | $(x_j - m_j^*)P_j^*$ |
|-----|-------|---------|---------|---------------|-------------------|----------------------|
| 1   | 52,5  | 0,341   | 17,903  | 34,597        | 1196,952          | 408,16               |
| 2   | 57,5  | 0,102   | 5,865   | 51,635        | 2666,173          | 271,95               |
| 3   | 62,5  | 0,011   | 0,688   | 61,812        | 3820,723          | 42,028               |
| 4   | 67,5  | 0,236   | 15,93   | 51,57         | 2659,465          | 527,634              |
| 5   | 72,5  | 0,094   | 6,815   | 65,685        | 4314,519          | 405,565              |
| 6   | 77,6  | 0,001   | 0,0775  | 77,423        | 5994,233          | 5,994                |
| 7   | 82,5  | 0       | 0       | 82,5          | 6806,25           | 0                    |
| 8   | 87,5  | 0       | 0       | 87,5          | 7656,25           | 0                    |
| 9   | 92,5  | 0       | 0       | 92,5          | 8556,25           | 0                    |
| 10  | 97,5  | 0       | 0       | 97,5          | 9506,25           | 0                    |
| 11  | 102,5 | 0       | 0       | 102,5         | 10506,25          | 0                    |
| 12  | 107,5 | 0       | 0       | 107,5         | 11556,25          | 0                    |
| 13  | 112,5 | 0       | 0       | 112,5         | 12656,25          | 0                    |
| 14  | 117,5 | 0       | 0       | 117,5         | 13800,25          | 0                    |
| 15  | 122,5 | 0       | 0       | 122,5         | 15006,25          | 0                    |
| 16  | 527,5 | 0       | 0       | 127,5         | 16256,25          | 0                    |
| 17  | 132,5 | 0,083   | 10,998  | 121,502       | 14762,736         | 1225,307             |
| 18  | 137,5 | 0,023   | 3,163   | 134,337       | 18046,43          | 425,068              |
| 19  | 142,5 | 0,003   | 0,428   | 142,072       | 20184,453         | 60,553               |
| 20  | 147,5 | 0,106   | 15,635  | 131,865       | 17388,378         | 1843,168             |

$$\sigma_2^* = 5205,433$$



$$\nu_1 = n_1 - 1 = 10 - 1 = 9, \quad \nu_2 = n_2 - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$F = \frac{5205,433^2}{2817,598^2} = 3,41$$

Из таблицы 3 приложения /18/ для уровня значимости 0,05 определяется  $F_{табл} = 3,25$ .  $F_{расч} > F_{табл}$  следовательно можно утверждать, что в значениях дебита произошло изменение. Сравнивая средние значения дебитов до и после установления УМОВ можно убедиться, что воздействие от УМОВ эффективное.

В случае, если  $t_{расч} < t_{табл}$  и  $F_{расч} < F_{табл}$  эффекта от воздействия не наблюдается, если  $F_{расч} > F_{табл}$  или  $t_{расч} > t_{табл}$ , то эффект существует. Произведем оценкой эффективности закачки омагниченной воды на скважине 3241 НГЖ "Иркеннефть" производственного объединения "Татнефть"

Скважина пробурена на 1724 м.

Искусственный забой 1710 м.

Диаметр насосно-компрессорных труб -3

Диаметр эксплуатационной колонны -6

Начало эксплуатации 28.09.58 г.

Переведена в нагнетательную 11.04.68 г.

Интервал перфорации: 1668÷1669; 1684,8÷1688; 1679÷1681; 1690,4÷1694,6 м.

Количество отверстий 220 штук

Скважина расположена во внутреннем разрезающем нагнетательном ряду образующимся скважинами 1124, 8921, 8920, 3241, 8919, 8918, 8917 и т.д. Данный участок Абдрахмановской площади характеризуется сложными геологическими условиями: многопластовость, наличие глин и алевролитов в составе нефтесодержащих коллекторов, их неоднородность.

Скважина вскрыта общим фильтром и инжектирует четыре пропласта "а", "б", "в", "ГД", из которых "а"-алевролит, остальные-песчанники. Наиболее мощным проницаемым и выработанным, т.е. обводненным является "ГД". Средний показатель приемистости до проведения экспериментальных исследований  $Q = 8 \cdot 10^{-3} M^3 / c$

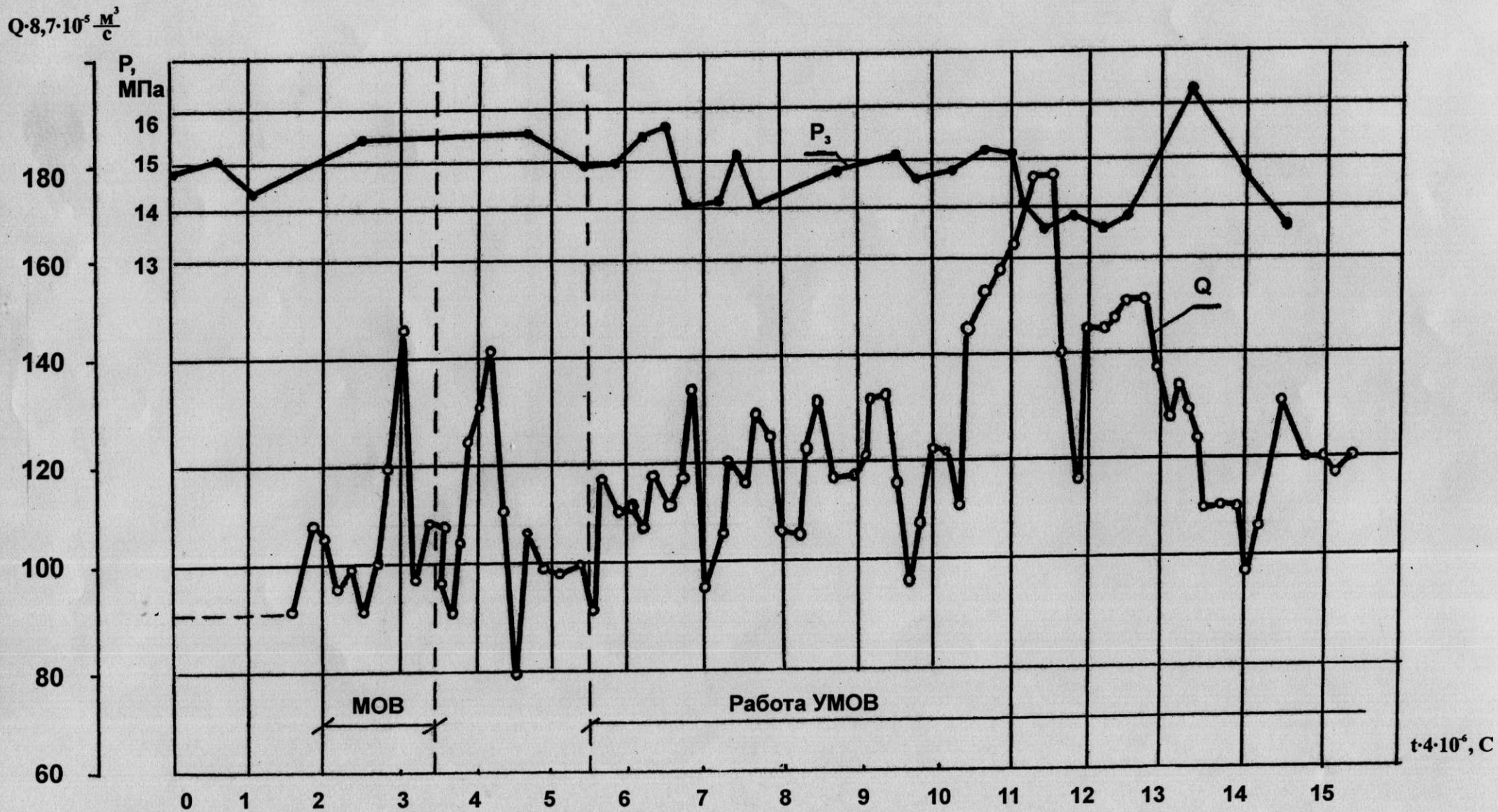
Монтаж УМОВ был произведен 1 августа 1977 года и через месяц демонтирован, с целью определения изменения наблюдаемых параметров.

В последующем 14.11.77г. УМОВ вновь было установлено, где работает по настоящее время (см. рис. 31)

Оценка эффективности применения закачки омагниченной воды осуществлялась применением обработки промысловых данных методом малой выборки. В результате обработки данных приемистости скважины получено что после отключения магнита критерий Стьюдента  $t_p = 1,361 < t_T = 2,1$ , а по критерию Фишера видно, что  $F_{расч} = 4,892 > F_{табл} = 3,25$ . Это говорит о наличии изменений, происходящих в результате отключения магнита.

После включения магнита сравнение критериев Стьюдента  $t_{расч} = 3,659 > t_1 = 2,1$  и Фишера  $F_{расч} = 4,6 > F_{табл} = 3,25$  показывает наличие изменений, происходящих в величинах приемистости. В

Рис. 31 Динамика изменения приемистости и давления нагнетания скв.3241 НГДУ "Иркеннефть"



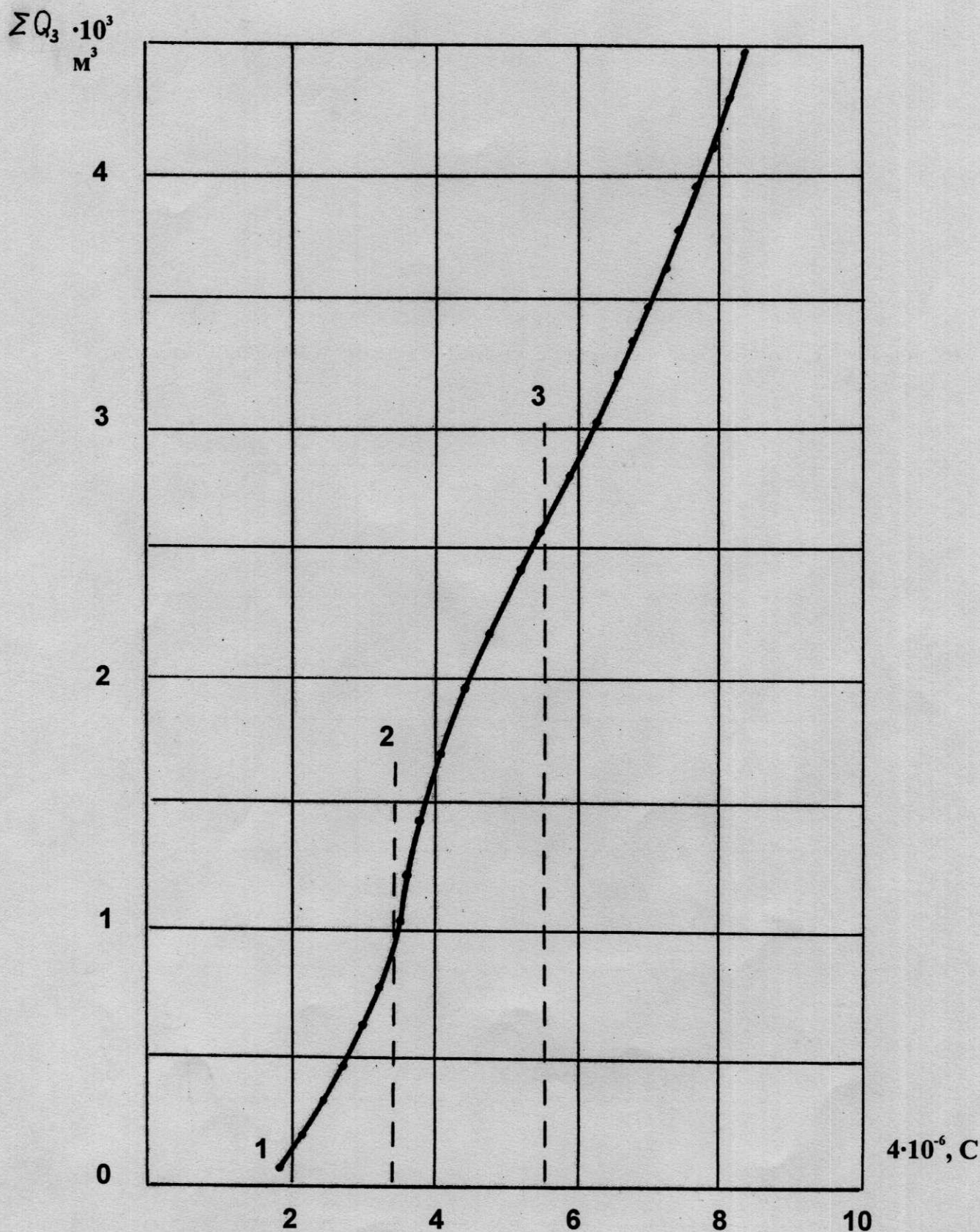
рассматриваемый период работы скважины производили отключение и включение УМОВ, следовательно изменения, происходящие в величинах приемистости, происходят за счет включения магнитного устройства в линию нагнетания.

### § 9.3 Оценка эффективности проведенного мероприятия методом эволюционного моделирования

Помимо этого производили математическую обработку графика суммарной закачки воды методом эволюционного моделирования /19/. Полученные уравнения имеют особенность: при включенном магнитном устройстве (участок кривой 1-2 и выше 3) показатель экспоненты положительная величина, что соответствует возрастанию количества закачиваемой жидкости; при закачке воды (на интервале кривой 2-3) показатель экспоненты, описывающий кривую отрицательная величина, что соответствует насыщающей кривой, то есть приемистость со временем будет находиться на определенном уровне или затухать. Отсюда можно заключить что обрабатывая кривую суммарной закачки или отбора методом эволюционного моделирования, можно качественно судить об эффективности проведенного мероприятия по изменению знака или величины показателя экспоненты. (Рис. 32)

Среднее значение приемистости за период эксплуатации, когда было включено УМОВ, даже с учетом неблагоприятной ситуации, возникшей в результате пуска мощных экранирующих скважин, составило  $Q = 10 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с}$ , что соответствовало наращиванию приемистости рассматриваемой скважины за год эксплуатации на 30%. Коэффициент приемистости за тот же период увеличился с  $\eta = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с \cdot мПа}$  до  $\eta = 2,2 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с \cdot мПа}$  что составило 90%.

Рис.32 Динамика суммарной закачки во времени скв.3241 НГДУ "Иркеннефть"



1 - включение магнитного устройства (МУ)  
2 - отключение МУ; 3 - включение МУ



До внедрения магнитного устройства и в период функционирования УМОВ были сняты профили приемистости, результаты которых приведены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что после первого включения УМОВ пласт "а" принимал всю воду, а остальные пласты в это время не принимали. Улучшение приемистости пласта "а" объясняется тем, что глина в контакте с магнитообработанной водой не набухает. При демонтаже УМОВ магнитная обработка воды не происходит, следовательно глинизированный пласт "а" представляет большое гидродинамическое сопротивление для воды, чем пласты "ГД" и "в". Это видно из распределения расходов по пластам.

Дальнейшее включение УМОВ привело к улучшению фильтрационной характеристики пласта "а" и "б<sub>3</sub>". Пласт "а" не восстановил приемистости первого включения УМОВ из-за того, что пласт "б<sub>3</sub>" со временем так же улучшил свои коллекторские свойства.

Таблица 5

Профили приемистости скважины 3241 НГДУ

"Иркеннефть"

| Пласт | 7.04.77 | Включение УМОВ | 11.04 | Включение УМОВ | 12.09 | Включение УМОВ | 17.10 | Включение УМОВ | 12.05.78 |
|-------|---------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|----------|
| "а"   | 0       |                | 0     |                | 100   |                | 15    |                | 33       |
| "б"   | 0       |                | 0     |                | 0     |                | 0     |                | 67       |
| "в"   | 0       |                | 53    |                | 0     |                | 31    |                | 0        |
| "г"   | 100     |                | 47    |                | 0     |                | 54    |                | 0        |

Из анализа промыслового материала видно, что включение УМОВ на линию нагнетания привело к увеличению приемистости скважины в среднем на 30%.

### Заключение.

1. В процессе вытеснения трансформаторного масла из пористой среды содержащей 30% глины коэффициент вытеснения за счет омагничивания можно увеличить до 37,5%, которые достигаются при напряженности магнитного поля при  $H=51740$  А/м.
2. В процессе воздействия магнитного поля также увеличивается скорость однофазной фильтрации, и для пористой среды содержащей 5% глины, остальное песок увеличение достигает 5-7%.
3. Обработка магнитным полем снижает степень набухания глинистых частиц. Время релаксации (после действия) составляет 12-13 суток.
4. В результате магнитной обработки агрессивной среды скорость коррозии уменьшается для стали марки Д на 44%, марки У-21 на 55%.
5. Оптимальная концентрация раствора тринатрийфосфата в воде составляет 0,01-0,05% при вытеснении высоковязких нефтей из карбонатных коллекторов. Большая концентрация способствует ухудшению процессов вытеснения.
6. В результате магнитной обработки 3,6% раствором соляной кислоты в воде постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 51,740 А/м получено возрастание коэффициента вытеснения на 28%.
7. Промысловое применение закачки омагниченной воды позволяет увеличить приемистость скважин до 40%

## Литература

1. Черненко Ж.С., Усатенко С.Т., Калинина В.Т.  
«Влияние магнитной обработки на физические свойства углеводородных жидкостей».  
Сборник «Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем» Новочеркасск, 1975, с.93-95
2. Осипов Ю.Б. «Исследование глинистых суспензий и осадков в магнитном поле» Издательство МГУ, 1968 – 160 с.
3. Классен В.И. «Изменение смачиваемости поверхности твердых тел водой после действия на нее магнитного поля» ДАН СССР, 1966, №6 с.166-169
4. «Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем» М.1971, 313 с.
5. Миненко В.И. «Магнитная обработка водо-дисперсных систем». Киев, 1970 – 168 с.
6. Агаларов Дж.М. «Магнитный способ борьбы с солеотложениями в нефтедобыче» Баку, 1981, 159 с.
7. «Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем», Новочеркасск, 1975, 266 с.
8. Куценко А.Н. «Изменение качества воды при обработке ее в магнитном поле». РНТС ВНИОЭНГ «Нефтепромысловое дело», 1974, №88, с 43-45.
9. Демчук Л.А., Михельман А.Н., Сухан В.С., Костур И.Н. «Установка для обработки пресной воды нагнетальных скважин в магнитном поле». Изв.ВУЗ-ов «Нефть и газ», 1962, №9, с 18-19.
10. Фрумкин А.Н. «Потенциал нулевого заряда» М. «Недра», 1982 – 258 с.
11. Левич В.Г. УФН, 1966, 88, 787с
12. Классен В.И., «Омагничивание водных систем», М. «Химия», 1982, с.296
13. Мамедзаде А.М., Аббасов Э.М., «Некоторые аспекты механизма влияния омагниченной воды на коэффициент вытеснения» – Изв. ВУЗов «Нефть и газ», 1966, №7, с45-48
14. Сканови Г.И. «Физика диэлектрика» Т.2, (область слабых полей). М-Л., 1949 – 500 с.
15. Осипов Ю.Б. «Магнетизм глинистых грунтов», «Недра», 1978 – 192 с.
16. «Физические свойства горных пород и полезных ископаемых» (Справочник геофизика) Под редакцией Дортман Н.Б. М. «Недра» 1976, с140-194.
17. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И., «Малая выборка» М. «Статистика», 1978 – 183 с.

18. «Инструкция по применению постоянных магнитов для закачки омагниченной воды в пласт», Альметьевск 1984 – 72 с.
19. Мирзаджанзаде А.Х. Степанов Г.С. «Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа» М. «Недра», 1972 – 229 с.